

**BEST AVAILABLE COPY**

(19)日本国特許庁 (JP)

**(12) 公開特許公報 (A)**

(11)特許出願公開番号

特開2000-117969

(P2000-117969A)

(43)公開日 平成12年4月25日 (2000.4.25)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

B 4 1 J    2/045  
              2/055

識別記号

F I

B 4 1 J    3/04

マーク(参考)

1 0 3 A    2 C 0 5 7

審査請求 有 請求項の数7 FD (全16頁)

(21)出願番号 特願平10-318443

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(22)出願日 平成10年10月20日 (1998.10.20)

(72)発明者 奥田 真一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100099830

弁理士 西村 征生

F ターム(参考) 20057 AF23 AG01 AG12 AG44 AG48

AM03 AM18 AM21 AM22 AR16

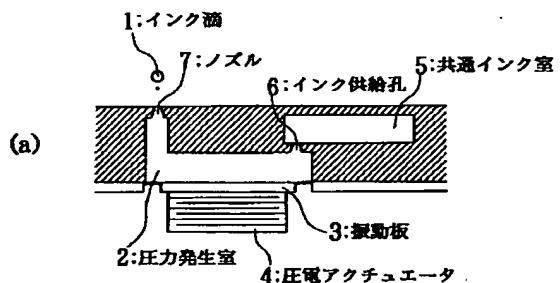
BA04 BA14

**(54)【発明の名称】 インクジェット記録ヘッドの駆動方法**

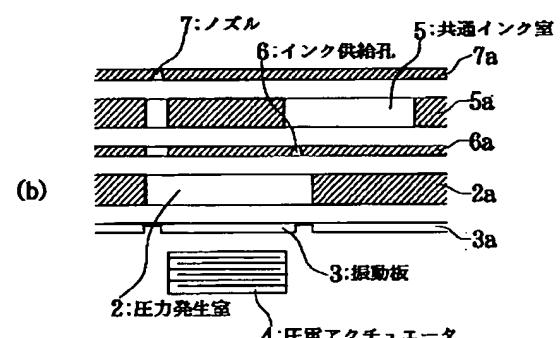
**(57)【要約】**

【課題】 ノズル径よりも小さな径の微小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できるようにする。

【解決手段】 開示される発明は、圧電アクチュエータ4に駆動電圧を印加し、圧力発生室2内に圧力変化を生じさせることで、圧力発生室2に連通されるノズル7からインク滴1を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、駆動電圧波形を、圧力発生室2を膨張させる方向に、電圧を印加する第1の電圧変化プロセスと、次いで、圧力発生室2を圧縮する方向に、電圧を印加する第2の電圧変化プロセスと、圧力発生室2を再び膨張させる方向に、電圧を印加する第3の電圧変化プロセスとから構成し、かつ、第2、第3の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間 $t_2$ 、 $t_3$ を、圧力発生室2内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して、 $0 < t_2 < T_c/2$ 、 $0 < t_3 < T_c/2$ の長さに設定した。



(a)



(b)

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電気機械変換器に駆動電圧を印加し、当該電気機械変換器を変形させて、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることで、前記圧力発生室に連通されるノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法であって、

前記駆動電圧の電圧波形を、

前記圧力発生室の体積を増加させる方向に、電圧を印加する第1の電圧変化プロセスと、

次いで、前記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第2の電圧変化プロセスと、

前記圧力発生室の体積を再び増加させる方向に、電圧を印加する第3の電圧変化プロセスと少なくとも有して構成すると共に、

前記第2、第3の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間 $t_2$ 、 $t_3$ を、前記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して、

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項2】 前記第3の電圧変化プロセスの開始時刻を、前記第2の電圧変化プロセスの終了時刻と一致させたことを特徴とする請求項1記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項3】 前記駆動電圧の電圧波形に、前記第1の電圧変化プロセス、前記第2の電圧変化プロセス及び前記第3の電圧変化プロセスに次いで、前記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第4の電圧変化プロセスを含ませることを特徴とする請求項1又は2記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項4】 前記第4の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間 $t_4$ を、前記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対し、

$$0 < t_4 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴とする請求項3記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項5】 前記第2の電圧変化プロセスの開始時刻から、前記第4の電圧変化プロセスの開始時刻までの時間間隔を、前記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して、略 $1/2$ の長さに設定したことを特徴とする請求項3又は4記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項6】 前記電気機械変換器が圧電アクチュエータであることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項7】 開口径が $20\sim40\mu m$ の前記ノズルを備えるインクジェット記録ヘッドを駆動して、滴径 $5\sim25\mu m$ のインク滴を吐出させることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘ

ッドの駆動方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ノズルから微小なインク滴を吐出して文字や画像の記録を行うインクジェット記録ヘッドの駆動方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来から、この種の記録ヘッドの1つとして、印字情報に応じてノズルからインク滴を吐出する、いわゆるオンデマンド型インクジェット記録ヘッドが広く知られている（例えば、特公昭53-12138号公報参照）。図15は、オンデマンド型インクジェット記録ヘッドのうち、カイザー型と呼ばれるインクジェット記録ヘッドの基本構成を概略示す断面図である。このカイザー型記録ヘッドにおいては、同図に示すように、インクの上流側で、圧力発生室91と共にインク室92とがインク供給孔（インク供給路）93を介して連結され、また、インクの下流側で圧力発生室91とノズル94とが連結されている。また、圧力発生室91の圧中底板部が、振動板95によって構成され、この振動板95の裏面には、圧電アクチュエータ96が設けられている。

【0003】このような構成において、印字動作時には、印字情報に応じて圧電アクチュエータ96を駆動して振動板95を変位させ、これにより、圧力発生室91の体積を急激に変化させて圧力発生室91に圧力波を発生させる。この圧力波によって、圧力発生室91に充填されているインクの一部がノズル94を通じて外部に噴射され、インク滴97となって吐出する。吐出したインク滴98は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録媒体上に文字や画像が記録されることになる。

【0004】ここで、インク滴吐出動作について、さらに言及すれば、このオンデマンド型インクジェット記録方式では、圧電アクチュエータ96に所定の駆動電圧を印加する度に、インク滴1滴が吐出するのであるが、従来では、インク滴1滴を吐出させる際には、台形状の駆動電圧波形を、圧電アクチュエータ96に印加することが一般に行われている。この台形状の駆動電圧波形は、図16に示すように、圧力発生室91を圧縮してインク滴97を吐出させるために、圧電アクチュエータ96への印加電圧Vを基準電圧から所定の高さ $V_1$ まで直線的に増加させる第1の電圧変化プロセス51と、所定の高さ $V_1$ に達した印加電圧Vを暫時( $t_1$ 時間)保持する電圧保持プロセス52と、この後、圧縮状態の圧力発生室91を元に戻すために、印加電圧 $V_1$ を基準電圧に戻す第2の電圧変化プロセス53とからなっている。なお、駆動電圧の増減による圧電アクチュエータの動きは、圧電アクチュエータ96の構造や分極の向きに依存

3

するので、上記した圧電アクチュエータの動きとは逆向きに動く圧電アクチュエータも存在するが、この逆動作の圧電アクチュエータに対しては、駆動電圧も逆向きにすれば、上記したと同様の吐出動作をするので、この明細書の「発明の詳細な説明」の欄では、以下の説明を簡単にするため、印加電圧が増加すると、圧力発生室を圧縮する向きに働き、反対に、印加電圧が減少すると、圧力発生室を膨張させる向きに働く圧電アクチュエータを代表させて説明する。

【0005】ところで、この種のインクジェット記録ヘッドにおいては、インク滴97が記録紙の上に着弾して記録ドットが形成されることによって、1画素が形成されるため、記録ドットの径が大きければ、粒状感が現れて高画質が得られない、という問題がある。そこで、粒状感の少ない滑らかな画像（高画質）を得るためにドット径条件は、経験上、 $40\mu m$ 以下であるとされ、ドット径が $25\mu m$ 以下であれば大変好ましいと考えられている。小さなドット径を得るには、吐出するインク滴97の径を小さくすれば良いことは明かである。インク滴\*

$$q \propto T_c V_d A_n$$

【0007】そこで、まず、圧力波の固有周期 $T_c$ について論じる。圧力波の固有周期 $T_c$ は、圧力発生室91の体積を減少させることによって、あるいは圧力発生室壁の剛性を上げ、圧力発生室91の音響容量を小さくすることによって、短くなる。しかしながら、圧力波の固有周期 $T_c$ を例えば数 $\mu s$ のオーダにまで極端に短くすると、リフィルの円滑性が損なわれ、この結果、吐出効率や最高駆動周波数等の面で悪影響を生じるため、実際上、圧力波の固有周期 $T_c$ は、 $10\sim20\mu s$ 程度が最小限界である。次に、インク滴97の滴速 $V_d$ について述べる。滴速 $V_d$ は、インク滴97の着弾位置精度を左右し、滴速が遅いと、インク滴97が空気の流れの影響を受けて、インク滴97の着弾位置精度は悪くなる。したがって、滴径を小さくすることだけを求めて、滴速 $V_d$ を極端に小さくすることはできず、結局、高い画像品質を得るために、インク滴97の滴速 $V_d$ についても、一定以上の値（通常は $4\sim10m/s$ 程度）が必要である。

【0008】次に、ノズル開口径について述べる。上記した事情により、インクが充填された圧力発生室91内の圧力波の固有周期 $T_c$ を $10\sim20\mu s$ 程度に、インク滴97の滴速 $V_d$ を $4\sim10m/s$ 程度に設定し、かつ、図16に示す駆動電圧波形で、圧電アクチュエータ96を駆動した場合、得られる最小インク滴径は、ノズル径97と同等程度の大きさが限界であることが、経験上わかっている。したがって、 $20\mu m$ のインク滴径を得るには、ノズル径を $20\mu m$ とし、 $20\mu m$ よりもさらに小さなインク滴径を得るには、 $20\mu m$ よりもさらに小さなノズル径とすることが要求される。しかし、2※50

4

\*径とドット径の関係は、インク滴97の飛翔速度（滴速）、インク物性（粘度、表面張力）、記録紙種類等に依存するが、通常ドット径はインク滴径の2倍程度となる。したがって、 $40\mu m$ のドット径を得るには、インク滴径を $20\mu m$ としなければならず、さらに小さなドット径、例えば $25\mu m$ 以下のドット径を得るには、インク滴径を $12.5\mu m$ 以下にすることが必要となる。一方、理論的考察により、圧力波によって、ノズル94からインク滴97を吐出させる場合、吐出されるインク

10 滴97の体積 $q$ は、式（1）に示すように、①ノズル94の開口面積 $A_n$ 、②インク滴97の速度（滴速） $V_d$ 、③圧力発生室91内の圧力波（音響的基本振動モード）の固有周期 $T_c$ 等に比例することがわかっている。したがって、インク滴97を小型化するには、その分、ノズル開口径、滴速 $V_d$ 及び圧力波の固有周期 $T_c$ を小さくすれば良いと考えられる。

【0006】

【数1】

… (1)

※ $0\mu m$ よりも小さなノズル径を形成することは、製造面で多くの困難が伴うと共に、ノズルの目詰まりの発生確率が増加するため、ヘッドの信頼性及び耐久性確保が著しく損なわれることとなる。このため、実際には、 $25\sim30\mu m$ 程度がノズル径の当面の下限であり、したがって、上述の条件では、得られる最小滴径は $25\sim30\mu m$ 程度が限界である。なお、目詰まりの問題が将来解決すれば、ノズル径の下限は、 $20\mu m$ 程度にまで伸びることが予想される。

【0009】このような問題を打開する手段として、例えば、特開昭55-17589号公報等に記載されているように、逆台形状の駆動電圧波形を圧電アクチュエータ96に印加して、「引き打ち」を行うことで、ノズル径よりも小さなインク滴を吐出させるようにしたインクジェット駆動方法が提供されている。この駆動電圧波形は、図17に示すように、圧力発生室91を膨張するために、基準電圧 $V_1$ （ $>0V$ ）に設定されている圧電アクチュエータ96の印加電圧 $V$ を例えば $0V$ にまで減少させる第1の電圧変化プロセス54と、 $0V$ にまで減少した印加電圧 $V$ を暫時（ $t_1'$ 時間）保持する電圧保持プロセス55と、この後、圧力発生室91を圧縮してインク滴97を吐出せると共に、次の吐出動作に備えさせるために、圧電アクチュエータ96の印加電圧 $V$ を元の電圧 $V_1$ の高さにまで増加させる第2の電圧変化プロセス56とからなっている。このように、吐出直前に圧力発生室を膨張させると、ノズル開口面にあったメニスカスがノズル内部に引き込まれ、メニスカスの形状が凹となった状態から吐出が行われるので、この駆動方法は、「メニスカス制御」、「引き打ち」等と呼ばれる。

この「メニスカス制御（引き打ち）」の駆動方法によれば、吐出直前にメニスカスがノズル内部に引き込まれて、ノズル内部のインク量が減少する上、吐出時における液滴形成状態が変化する等に起因して、ノズル径よりも小さな径のインク滴が形成されるので、高画質記録を得ることができるるのである。これに加えて、吐出するインク滴が、ノズル開口面の濡れの影響も受け難くなるため、吐出安定性も向上する。

【0010】また、特開昭59-143655号公報には、吐出直前におけるメニスカスの後退量を可変として、同じノズルから異なる径のインク滴を吐出させることで、メニスカス制御を滴径変調に利用する手段が提案されている。また、メニスカス制御を行う場合の駆動電圧の電圧波形についてもいくつか提案がなされており、例えば特開昭59-218866号公報には、微小滴が得られ易くなる条件として、第1の電圧変化プロセス54と第2の電圧変化プロセス56の時間間隔（タイミング）を規定している。また、特開平2-192947号公報には、第1及び第2の電圧変化プロセス54、56の電圧変化時間を圧力波の固有周期Tcの整数倍に設定することにより、インク滴吐出後における圧力波の残響の発生を防止し、これにより、サテライトの発生を防止する駆動方法が開示されている。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記公報記載のメニスカス制御（引き打ち）の駆動方法（図17）にあっても、インク滴径を小さくできるのは、実験によれば、せいぜい、ノズル径の約90%程度までであり、したがって、20μm以下の微小インク滴を得て、高画質記録を実現することは、实际上困難である。すなわち、この出願に係る発明者達が、ノズル径=30μm、圧力波の固有周期Tc=14μs、滴速Vd=6m/sの条件下で、かつ、図17に示す駆動電圧波形で吐出実験を行った結果によれば、基準電圧V1、第1の電圧変化プロセス54における電圧変化時間（立ち下げ時間）t1、電圧保持プロセス55における電圧保持時間t1'、第2の電圧変化プロセス56における電圧変化時間（立ち上げ時間）t2の値を様々に変え、かつ、組み合わせても、得られる滴径（サテライトを含む吐出インク総量から算出した相当径）は28μmが下限であつた。

【0012】また、図17に示す逆台形状の電圧波形で高速駆動した場合、インク滴吐出後に大きな圧力波の残響が生じ、この結果、低速のサテライトが発生したり、吐出不良が発生する等、吐出安定性が欠如する、という不都合もある。この発明者達が行った実験では、駆動周波数が8kHzを越えると、ノズル内への気泡の巻き込みや、ノズル周辺へのサテライト滴の付着等が発生し、これに起因して、滴速Vdの低下や吐出不良が観測された。この実験で使用したヘッドは、図16に示す台形状

の駆動電圧波形では、10kHz以上の駆動が可能なヘッドであることが確認されているため、吐出不良の発生は、図17に示す逆台形状の駆動電圧波形によって生じる圧力波の残響に起因していることは明かである。

【0013】一方、特開平2-192947号公報に記載されているように、図17に示す駆動電圧波形において、立ち下げ時間t1及び立ち上げ時間t2を固有周期Tcの整数倍に設定した場合、吐出安定性は確保できるものの、今度は、微小滴を得ることが困難になってしまった。すなわち、この発明者等の実験結果によると、立ち上げ/立ち下げ時間(t1/t2)を固有周期Tcと一致させた場合、30μmのノズル径では、得られる微小滴は35μmであり、ノズル径以下の滴径を得ることは困難であることがわかった。

【0014】この発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、ノズル径よりも小径（例えば20μmレベル）の微小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できるインクジェット記録ヘッドの駆動方法を提供することを目的としている。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためには、請求項1記載の発明は、電気機械変換器に駆動電圧を印加し、当該電気機械変換器を変形させて、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることで、上記圧力発生室に連通されるノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記駆動電圧の電圧波形を、上記圧力発生室の体積を増加させる方向に、電圧を印加する第1の電圧変化プロセスと、次いで、上記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第2の電圧変化プロセスと、上記圧力発生室の体積を再び増加させる方向に、電圧を印加する第3の電圧変化プロセスとを少なくとも有して構成すると共に、上記第2、第3の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間t2、t3を、上記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期Tcに対して、

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴としている。

【0016】また、請求項2記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記第3の電圧変化プロセスの開始時刻を、上記第2の電圧変化プロセスの終了時刻と一致させたことを特徴としている。

【0017】また、請求項3記載の発明は、請求項1又は2記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記駆動電圧の電圧波形に、上記第1の電圧変化プロセス、上記第2の電圧変化プロセス及び上記第3の電圧変化プロセスに次いで、上記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第4の電圧変化プロセスを含ませることを特徴としている。

【0018】また、請求項4記載の発明は、請求項3記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記第4の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間 $t_4$ を、上記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対し、

$$0 < t_4 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴としている。

【0019】請求項5記載の発明は、請求項3又は4記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記第2の電圧変化プロセスの開始時刻から、上記第4の電圧変化プロセスの開始時刻までの時間間隔を、上記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して、略 $1/2$ の長さに設定したことを特徴としている。

【0020】また、請求項6記載の発明は、請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記電気機械変換器が圧電アクチュエータであることを特徴としている。

【0021】また、請求項7記載の発明は、請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、開口径が $20 \sim 40 \mu\text{m}$ の上記ノズルを備えるインクジェット記録ヘッドを駆動して、滴径 $\sim 25 \mu\text{m}$ のインク滴を吐出させることを特徴としている。

#### 【0022】

【発明の理論的妥当性】集中定数系等価回路モデルを用いて、この発明の妥当性の理論的根拠について説明す\*

$$u'_3(t, \theta) = \frac{\frac{1}{k} \tan \theta}{\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \left[ 1 - \frac{w}{E_c} \exp(-D_c \cdot t) \sin(E_c \cdot t - \phi_0) \right] \quad \dots (2)$$

(0 \leq t \leq t\_1)

$$\text{ただし、 } E_c = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{k}}{c_1 m_3} - D_c^2}$$

$$D_c = \frac{r_2}{2m_3}$$

$$w^2 = \frac{1 + \frac{1}{k}}{c_1 m_3}$$

$$\phi_0 = \tan^{-1} \frac{E_c}{D_c}$$

【0024】次に、図13(b)に示すような、複雑な形状(台形状)の駆動電圧波形を用いた場合の体積速度は、駆動電圧波形の節部(A, B, C, Dの各点)で発生する圧力波を重ね合わせてゆくことによって求めることができる。すなわち、同図(b)の駆動電圧波形で発

\*る。図12(a)は、図1に示すインクジェット記録ヘッドのインク充填状態における等価電気回路図である。同図において、 $m_0$ は、圧電アクチュエータ4と振動板3から構成される振動系のイナータンス(音響質量) $[kg/m^4]$ 、 $m_2$ は、インク供給孔6のイナータンス、 $m_3$ はノズル7のイナータンス、 $r_2$ はインク供給孔6の音響抵抗 $[Ns/m^5]$ 、 $r_3$ はノズル7の音響抵抗、 $c_0$ は振動系の音響容量 $[m^5/N]$ 、 $c_1$ は圧力発生室2の音響容量、 $c_2$ はインク供給孔6の音響容量、 $c_3$ はノズル7の音響容量、 $w$ はインクに与えられる圧力 $[Pa]$ を表している。ここで、圧電アクチュエータ4に高剛性の積層型圧電アクチュエータを使用するとすれば、振動系のイナータンス $m_0$ 及び音響容量 $c_0$ は無視できるため、同図(a)の等価回路は、近似的に、同図(b)の等価回路で表される。また、インク供給孔6とノズル7のイナータンス $m_2, m_3$ との間で、 $m_2 = k m_3$ の関係式が、インク供給孔6とノズル7の音響抵抗 $r_2, r_3$ との間で、 $r_2 = k r_3$ の関係式がそれぞれ成立と仮定して、図13(a)に示すように、立ち上がり角度 $\theta$ を持つ駆動電圧波形を入力した場合について回路解析を行うと、 $0 \leq t \leq t_1$ の立ち上がり時間内におけるノズル部7における体積速度 $u_3' [m^3/s]$ は、式(2)で与えられる。

#### 【0023】

##### 【数2】

40※生する、ノズル部7における体積速度 $u_3 [m^3/s]$ は、式(3)で与えられる。

#### 【0025】

##### 【数3】

$$\begin{aligned}
 & 9 \\
 u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) & (0 \leq t < t_1) \\
 u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) & (t_1 \leq t < t_1 + t_1') \\
 u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) & (t_1 + t_1' \leq t < \\
 &+ u'_3(t - (t_1 + t_1'), \theta_3) & t_1 + t_1' + t_2) \\
 u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) & \} (3) \\
 &+ u'_3(t - (t_1 + t_1'), \theta_3) \\
 &+ u'_3(t - (t_1 + t_1' + t_2), \theta_4) & (t \geq t_1 + t_1' + t_2)
 \end{aligned}$$

【0026】ところで、同図(a)の駆動電圧波形に対し、実際に式(3)を用いて体積速度<sub>3</sub>を求めてみると、体積速度<sub>3</sub>の時間的変化の様子が、立ち上げ時間t<sub>1</sub>によって大きく変化することがわかる。その一例を図14に示す。t<sub>1</sub><T<sub>c</sub>(T<sub>c</sub>:圧力波の固有周期)の領域では、立ち上げ時間t<sub>1</sub>の減少(同図(a)→

(b)→(c))に伴って、体積速度<sub>3</sub>が0となる時間(t'')が早くなる。なお、図中の粒子速度は、ノズル部7における体積速度u<sub>3'</sub>/ノズル開口面積と定義される。このように、駆動電圧波形によって、ノズル部7での体積速度波形が大きく変化するため、これを微小滴吐出原理として利用できる。何故なら、吐出する滴体積qは、式(4)で表されることから明かなように、図14の斜線部面積に略比例するためである。

#### 【0027】

#### 【数4】

$$q = \int^t u_3(t) dt \quad \dots (4)$$

【0028】すなわち、立ち上げ時間t<sub>1</sub>を小さく設定すれば、斜線部面積が小さくなるため、小さな滴体積(滴径)qが得られる。特に、立ち上げ時間t<sub>1</sub>を圧力波の固有周期T<sub>c</sub>の半分以下に設定することによって、微小滴の吐出が可能となる(立ち下げ時間t<sub>2</sub>についても、同様である)。

【0029】なお、図17に示す駆動電圧波形を用いて、メニスカス制御(引き打ち)を行う場合に、立ち上げ時間t<sub>2</sub>を圧力波の固有周期T<sub>c</sub>の半分以下に設定することは、微小滴吐出を行う上で特に好ましい。何故なら、本来のメニスカス制御による滴径減少効果に加えて、上記した体積速度波形の変化(斜線部面積減少)の効果が作用するため、インク滴を一段と小粒にできるからである。

【0030】ただし、図17に示す逆台形状の駆動電圧波形の立ち上げ時間t<sub>2</sub>を小さく設定するだけでは、20μmレベルの微小滴を得るのは未だ困難である。そこで、図4(a)に示すように、駆動電圧波形を立ち上げた直後に、圧力発生室2の体積を急激に増加させる第3の電圧変化プロセス(電圧立ち下げるプロセス)を圧電アクチュエータ4に加えるようにすれば、図5(a)に示すように、斜線部面積がさらに減少し、インク滴をさらに一段と小粒にできる。また、立ち下げによる滴径短\*

10\* 小の効果は、立ち上げと立ち下げる時間間隔に依存し、図4(b)に示すように、立ち下げるタイミングを立ち上げ直後に設定すれば、つまり、第3の電圧変化プロセスの開始時刻を、第2の電圧変化プロセスの終了時刻と一致させるように設定すれば、図5(b)に示すように、最も微小な滴径が得られる。

【0031】また、上記したように、急激な立ち上げ/立ち下げる時間を有する駆動電圧波形を用いると、吐出後に大きな圧力波の残響が発生し、サテライトの発生や高速駆動時の安定性低下等の問題が生じ易くなる。そこで、請求項3、4及び5記載の発明では、第3の電圧変化プロセスの後、残響を抑制させるための圧力波を発生させる第4の電圧変化プロセス(電圧立ち上げのプロセス)を加える。これにより、それ以前に発生した圧力波が相殺されることにより、残響の発生が抑えられ、吐出安定性を大幅に増加できる。

#### 【0032】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。説明は、実施例を用いて具体的に行う。

#### ◇第1実施例

図1(a)は、この発明の第1実施例であるインクジェット記録装置に搭載されるインクジェット記録ヘッドの構成を示す断面図、同図(b)は、同インクジェット記録ヘッドを分解して示す分解断面図、図2は、同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径非変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図、図3は、同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図、図4は、同インクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図、図5は、同駆動電圧波形によって、ノズル部に生じるインクの体積速度波形を示す波形図(既述)、また、図6及び図7は、この例の効果を説明するための図である。

【0033】この例のインクジェット記録ヘッドは、図1(a)に示すように、必要に応じてインク滴1を吐出させて、記録紙上に文字や画像を印字するオンデマンド・カイザー型マルチノズル式記録ヘッドに係り、図1に示すように、細長立方体形状にそれぞれ形成され、かつ、図中紙面垂直方向に並べられた複数の圧力発生室2と、各圧力発生室2の中底面を構成する振動板3と、

## 11

この振動板3の裏面に、かつ、各圧力発生室2に対応して並設された、積層型圧電セラミックスからなる複数の圧電アクチュエータ4と、図示せぬインクタンクと連結されて、各圧力発生室2にインクを供給するための共通インク室（インクプール）5と、この共通インク室5と各圧力発生室2とを1対1に連通させるための複数のインク供給孔（連通孔）6と、各圧力発生室2と1対1に設けられ、各圧力発生室2の屈曲上方に突起した先端部からインク滴1を吐出させる複数のノズル7とから概略構成されている。ここで、共通インク室5、インク供給路6、圧力発生室2及びノズル7によって、インクがこの順に移動する流路系が形成され、圧電アクチュエータ4と振動板3とから、圧力発生室2内のインクに圧力波を加える振動系が構成され、流路系と振動系との接点が、圧力発生室2の底面（すなわち、振動板3の図中上面）となっている。

【0034】この実施例のヘッド製造工程では、図1(b)に示すように、精密プレス加工で円形に穿孔されることで、複数のノズル7が列状に又は千鳥状に配列されたノズルプレート7aと、共通インク室5の空間部が形成されたアールプレート5aと、インク供給孔6が穿孔された供給孔プレート6aと、複数の圧力発生室2の空間部が形成された圧力発生室アート2aと、複数の振動板3を構成する振動プレート3aとを予め用意した後、これらのプレート2a, 3a, 5a~7aを厚さ約 $20\mu\text{m}$ の図示せぬエポキシ系接着剤層を用いて接着接合して積層プレートを作成し、次に、作成された積層プレートと圧電アクチュエータ4とをエポキシ系接着剤層を用いて接合することで、上記構成のインクジェット記録ヘッドを製造することが行われる。なお、この例では、振動プレート3aには、電鋸（エレクトロフォーミング）で成形された厚さ $50\sim75\mu\text{m}$ のニッケル板が用いられるのに対し、他のアート2a, 5a~7aには、厚さ $50\sim75\mu\text{m}$ のステンレス板が用いられる。また、この例のノズル7は、開口径略 $30\mu\text{m}$ 、裾径略 $65\mu\text{m}$ 、長さ略 $75\mu\text{m}$ とされ、圧力発生室2側に向かって径が徐々に増加するテーパ形状に形成されている。また、インク供給孔6も、ノズル7と同一形状に形成されている。

【0035】次に、図2及び図3を参照して、この例のインクジェット記録装置を構成して、上記構成のインクジェット記録ヘッドを駆動する駆動回路の電気的構成について説明する。この例のインクジェット記録装置は、図示せぬCPU（中央処理装置）やROMやRAM等のメモリを有している。CPUは、ROMに記憶されたプログラムを実行して、RAMに確保された各種レジスタやフラグを用いて、インターフェイスを介してパーソナル・コンピュータ等の上位装置から供給された印字情報に基づいて、記録紙上に文字や画像を印刷するために、装置各部を制御する。

## 12

【0036】まず、図2の駆動回路は、図4(a)に対応する駆動電圧波形信号を発生して電力増幅した後、印字情報に対応する所定の圧電アクチュエータ4, 4, …に供給して駆動することにより、滴径が常に略同じインク滴1を吐出させて、記録紙上に文字や画像を印字させるもので、波形発生回路21と、電力増幅回路22と、圧電アクチュエータ4, 4, …と1対1に接続された複数個のスイッチング回路23, 23, …とから概略構成されている。

- 10 【0037】波形発生回路21は、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して図4(a)に対応する示す駆動電圧波形信号を生成する。電力増幅回路22は、波形発生回路21から供給された駆動電圧波形信号を電力増幅して、図4(a)に示す増幅駆動電圧波形信号として出力する。スイッチング回路23は、入力端が電力増幅回路22の出力端に接続され、出力端が対応する圧電アクチュエータ4の一端に接続され、制御端に、図示せぬ駆動制御回路から出力される印字情報に対応する制御信号が入力されると、スイッチオンとなって、対応する電力増幅回路22から出力される増幅駆動電圧波形信号（図4(a)）を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2に体積変化を生じさせて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から所定の滴径のインク滴1を吐出させる。なお、この実施例の記録ヘッドでは、インクが充填された圧力発生室2内における圧力波の固有周期Tcは、 $14\mu\text{s}$ である。吐出したインク滴は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録紙上に文字や画像が2値記録される。
- 20 【0038】次に、図3の駆動回路は、ノズルから吐出するインク滴の径を多段階（この例では、滴径 $40\mu\text{m}$ 程度の大滴、 $30\mu\text{m}$ 程度の中滴、 $20\mu\text{m}$ 程度の小滴の3段階）に切り替えて、多階調で記録紙上に文字や画像を印字させる、いわゆる滴径交調型の駆動回路であり、滴径に応じた3種類の波形発生回路31a, 31b, 31cと、これらの波形発生回路31a, 31b, 31cと1対1に接続された電力増幅回路32a, 32b, 32cと、圧電アクチュエータ4, 4, …と1対1に接続された複数個のスイッチング回路33, 33, …とから概略構成されている。
- 30 【0039】波形発生回路31a~31cは、いずれも、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、これらの波形発生回路31a~31cのうち、波形発生回路31aは、CPUによりROMの所定の記憶
- 40
- 50

13

エリアから読み出された大滴吐出用の駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して大滴吐出用の駆動電圧波形信号を生成する。波形発生回路31bは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された中滴吐出用の駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して中滴吐出用の駆動電圧波形信号を生成する。また、波形発生回路31cは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された小滴吐出用の駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して図4(a)に対応する小滴吐出用の駆動電圧波形信号を生成する。電力増幅回路32aは、波形発生回路31aから供給された大滴吐出用の駆動電圧波形信号を電力増幅して大滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号として出力する。電力増幅回路32bは、波形発生回路31bから供給された中滴吐出用の駆動電圧波形信号を電力増幅して中滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号として出力する。また、電力増幅回路32cは、波形発生回路31cから供給された小滴吐出用の駆動電圧波形信号を電力増幅して小滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号(図4(a))として出力する。

【0040】また、スイッチング回路33は、図示せぬ第1、第2、第3のトランジスタ・ゲートから構成され、第1のトランジスタ・ゲートの入力端が電力増幅回路32aの出力端に接続され、第2のトランジスタ・ゲートの入力端が電力増幅回路32bの出力端に接続され、第3のトランジスタ・ゲートの入力端が電力増幅回路32cの出力端に接続され、第1、第2、第3のトランジスタ・ゲートの出力端が対応する共通の圧電アクチュエータ4の一端に接続されている。そして、図示せぬ駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第1のトランジスタ・ゲートの制御端に入力されると、第1のトランジスタ・ゲートがオンとなって電力増幅回路32aから出力される大滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に印加する。

【0041】圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、この振動板3の変位により、圧力発生室2を急激に体積変化(増加・減少)させて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から大滴のインク滴1を吐出させる。駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第2のトランジスタ・ゲートの制御端に入力されると、第2のトランジスタ・ゲートがオンとなって電力増幅回路32bから出力される中滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2を体積変化させて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から中滴のインク滴1を吐出さ

14

せる。また、駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第3のトランジスタ・ゲートの制御端に入力されると、第3のトランジスタ・ゲートがオンとなって電力増幅回路32cから出力される小滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号(図4(a))を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2に体積変化を生じさせて、インクが充填された圧力発生室2内に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から小滴のインク滴1を吐出させる。吐出したインク滴は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録紙上に文字や画像が多階調記録される。この実施例では、2値記録専用のインクジェット記録装置には、図2の駆動回路が組み込まれ、階調記録も行うインクジェット記録装置には、図3の駆動回路が組み込まれる。

【0042】上記した増幅駆動電圧波形信号は、図4(a)に示すように、圧力発生室2を膨張させてメニスカスを後退させるために、圧電アクチュエータ4への印加電圧Vを立ち下げる(V<sub>1</sub>→0)第1の電圧変化プロセス41と、立ち下げられた印加電圧Vを暫時(t<sub>1</sub>時間)保持する(0→0)第1の電圧保持プロセス42と、圧力発生室2を圧縮してインク滴1を吐出させるために、電圧を立ち上げる(0→V<sub>2</sub>)第2の電圧変化プロセス43と、立ち上げられた印加電圧Vを暫時(t<sub>2</sub>時間)保持する(V<sub>2</sub>→V<sub>2</sub>)第2の電圧保持プロセス44と、圧力発生室2を再び膨張させるために、電圧を立ち下げる(V<sub>2</sub>→0)第3の電圧変化プロセス45とから構成され、第2、第3の電圧変化プロセス43、45における電圧変化時間t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>を、圧力発生室2内に発生する圧力波の固有周期T<sub>c</sub>に対して、

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定されている。

【0043】次に、この例のインクジェット駆動方法について、以下の駆動電圧波形条件で吐出実験を行った。すなわち、

40 基準電圧V<sub>1</sub>=10V

第1の電圧変化プロセス41での電圧変化時間t<sub>1</sub>=3

μs

第1の電圧保持プロセス42での電圧保持時間t<sub>1'</sub>=4

μs

第2の電圧変化プロセス43での電圧変化時間t<sub>2</sub>=2

μs

第3の電圧変化プロセス45での電圧変化時間t<sub>3</sub>=2

μs

にそれぞれ設定し、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間t<sub>2'</sub>を変化させて、滴径の変化を調べた。な

15

お、吐出時、すなわち、第2の電圧変化プロセス43での電圧変化量 $V_2$ は、常に、滴速が $6\text{ m/s}$ となるように調整した。図6は、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間 $t_{2'}$ とインクの滴径との関係を示す特性図で、実線は、上述の条件の下で得られた実測値、破線は、式(3)に基づいて、ノズル部7における体積速度 $u_3$ を算出し、この算出結果を式(4)に代入して、滴体積 $q$ を算出し、算出された滴体積 $q$ から求められた滴径の推算値である。図6からわかるように、絶対値に多少の差があるものの、理論値と実験値との間で良い一致が得られた。

【0044】図6からわかるように、第3の電圧変化プロセス45を加えることにより、インク滴を著しく小粒にすることが可能となり、特に、図4(b)に示すように、第2の電圧変化プロセス43の終了時刻と第3の電圧変化プロセス45の開始時刻とを一致させた場合、つまり、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間 $t_{2'}$ を $0\mu\text{s}$ とした場合に、最も小さな滴径( $19\mu\text{m}$ )のインク滴が得られ、 $20\mu\text{m}$ レベルの微小滴吐出が可能になることが確認された。

【0045】次に、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間 $t_{2'}=0\mu\text{s}$ の条件の下で、第2の電圧変化プロセス43の電圧変化時間(立ち上げ時間 $t_2$ )と、第3の電圧変化プロセス45の電圧変化時間(立ち下げ時間 $t_3$ )とを変化させて、インクの滴径の変化を実測した。図7は、立ち上げ時間 $t_2$ /立ち下げ時間 $t_3$ とインクの滴径との関係を示すグラフである。立ち上げ時間 $t_2$ 及び立ち上げ時間 $t_3$ を、圧力波の固有周期 $T_c$ の $1/2$ 以下に設定すれば、微小滴吐出が有効に行われることが、図7からわかる。

【0046】なお、吐出されるインクの滴径は、式(1)より明かなように、圧力波の固有周期 $T_c$ やノズル径に依存するため、第2の電圧変化プロセス43/第3の電圧変化プロセス45における立ち上げ時間 $t_2$ /立ち下げ時間 $t_3$ を、固有周期 $T_c$ の $1/2$ 以下に設定しても、必ずしも $20\mu\text{m}$ レベルの微小滴が得られるとは限らない。すなわち、立ち上げ時間 $t_2$ /立ち下げ時間 $t_3$ を、固有周期 $T_c$ の $1/2$ 以下に設定することは、 $20\mu\text{m}$ レベルの微小滴を得る上での十分条件ではなく、必要条件である。

【0047】次に、従来技術との比較のため、図17に示す従来駆動電圧波形によって、吐出実験を行った。すなわち、

基準電圧 $V_1=10\text{ V}$

第1の電圧変化プロセス54での電圧変化時間 $t_1=3\mu\text{s}$

電圧保持プロセス55での電圧保持時間 $t_{1'}=4\mu\text{s}$ にそれぞれ設定し、吐出時、すなわち、第2の電圧変化プロセス56での立ち上げ時間 $t_3$ を変化させて吐出されるインクの滴径の変化を調べた。なお、吐出時の電圧

16

変化量 $V_2$ は、常に、滴速が $6\text{ m/s}$ となるように調整した。図8は、第2の電圧保持プロセス56での立ち上がり時間 $t_2$ とインクの滴径との関係を示す特性図で、実線は、上述の条件の下で得られた実測値、破線は、式(3)及び式(4)に基づいて求められた滴径の推算値である。図8からわかるように、絶対値に多少の差があるものの、理論値と実験値との間で良い一致が得られた。図8から明らかのように、 $t_3 < T_c$ ( $T_c$ :圧力波の固有周期)の範囲では、立ち上げ時間 $t_3$ の減少に伴って滴径が直線的に減少する。したがって、図17に示すような従来の「メニスカス制御(引き打ち)」波形を用いる場合にも、立ち上げ時間 $t_3$ は、できるだけ小さく設定した方が微小滴吐出に有利となる。しかし、立ち上げ時間 $t_3$ を仮に $0\mu\text{s}$ に設定できたとしても、図8から予測される滴径は約 $28\mu\text{m}$ であり、 $20\mu\text{m}$ レベルの微小滴を得ることは困難である。

【0048】◇第2実施例

図9は、この発明の第2実施例であるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。この第2実施例では、増幅駆動電圧

波形信号が、同図に示すように、圧力発生室2を膨張させてメニスカスを後退させるために、圧電アクチュエータ4への印加電圧 $V$ を立ち下げる( $V_1 \rightarrow 0$ )第1の電圧変化プロセス91と、立ち下げられた印加電圧 $V$ を暫時( $t_1'$ 時間)保持する( $0 \rightarrow 0$ )第1の電圧保持プロセス92と、圧力発生室2を圧縮してインク滴1を吐出するために、電圧を立ち上げる( $0 \rightarrow V_2$ )第2の電圧変化プロセス93と、立ち上げられた印加電圧 $V$ を暫時( $t_2'$ 時間)保持する( $V_2 \rightarrow V_2$ )第2の電圧保持プロセス94と、圧力発生室2を再び膨張させるために、電圧を立ち下げる( $V_2 \rightarrow 0$ )第3の電圧変化プロセス95と、立ち下げられた印加電圧 $V$ を暫時( $t_3'$ 時間)保持する( $0 \rightarrow 0$ )第3の電圧保持プロセス96と、残響抑制用の圧力波を発生させるために、電圧を再び立ち上げる( $0 \rightarrow V_1$ )第4の電圧変化プロセス97とから構成され、第2、第3の電圧変化プロセス93、95における電圧変化時間 $t_2$ 、 $t_3$ を、圧力発生室2内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して、

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定されている。なお、圧力波の残響を効率良く打ち消すためには、第4の電圧変化プロセス97における電圧変化時間 $t_4$ を、圧力発生室2内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対し、

$$0 < t_4 < T_c / 2$$

の長さに設定するのが好ましい。つまり、第4の電圧変化プロセス97及びこれに伴う第3の電圧保持プロセス96を設けた点以外は、上述の第1実施例の構成と略同様である。

【0049】次に、この第2実施例のインクジェット駆

動方法について、以下の駆動電圧波形条件で吐出実験を行った。すなわち、

基準電圧  $V_1 = 10\text{ V}$

吐出時、すなわち、第2の電圧変化プロセス93での電圧変化量  $V_2 = 8\text{ V}$

第1の電圧変化プロセス91での電圧変化時間  $t_1 = 3\text{ }\mu\text{s}$

第1の電圧保持プロセス92での電圧保持時間  $t_1' = 4\text{ }\mu\text{s}$

第2の電圧変化プロセス93での電圧変化時間  $t_2 = 2\text{ }\mu\text{s}$

第2の電圧保持プロセス94での電圧保持時間  $t_2' = 0\text{ }\mu\text{s}$

第3の電圧変化プロセス95での電圧変化時間  $t_3 = 2\text{ }\mu\text{s}$

第3の電圧保持プロセス96での電圧保持時間  $t_3' = 2\text{ }\mu\text{s}$

第4の電圧変化プロセス97での電圧変化時間  $t_4 = 3\text{ }\mu\text{s}$

の電圧条件で、図9の駆動電圧波形で駆動した場合に生じる、ノズル部7におけるインクの体積速度変化を式(3)及び式(4)を用いて算出した。この算出結果を図10(b)に粒子速度として示す。

【0050】次に、第1実施例との比較のため、図4に示す従来駆動電圧波形によって、吐出実験を行った。すなわち、

基準電圧  $V_1 = 10\text{ V}$

吐出時、すなわち、第2の電圧変化プロセス93での電圧変化量  $V_2 = 8\text{ V}$

第1の電圧変化プロセス91での電圧変化時間  $t_1 = 3\text{ }\mu\text{s}$

第1の電圧保持プロセス92での電圧保持時間  $t_1' = 4\text{ }\mu\text{s}$

第2の電圧変化プロセス93での電圧変化時間  $t_2 = 2\text{ }\mu\text{s}$

第2の電圧保持プロセス94での電圧保持時間  $t_2' = 0\text{ }\mu\text{s}$

第3の電圧変化プロセス95での電圧変化時間  $t_3 = 2\text{ }\mu\text{s}$

の電圧条件で、図4の駆動電圧波形で駆動した場合に生じる、ノズル部7におけるインクの体積速度変化を式(3)及び式(4)を用いて算出した。この算出結果を図10(a)に粒子速度として示す。

【0051】第1実施例の駆動電圧波形(図4)で駆動した場合、第1～第3の電圧変化プロセス41, 43, 45の作用により、ノズル径よりも小さなインク滴の吐出が可能となる反面、良好な吐出安定性を得られない場合がある。これは、図10(a)からわかるように、第1実施例の駆動電圧波形(図4)で駆動した場合、吐出後にも、言い換れば、インク滴の吐出に関与する第1

10

波の後にも、大きな圧力波の残響が発生し、これが吐出安定性を悪化させるからである。発明者等の実験によるところ、このように大きな圧力波残響が発生した状態では、サテライトの発生状態が不安定になり易い上、特に、高い駆動周波数で吐出不良が発生し易いことが明かになっている。

【0052】これに対して、第2実施例の駆動電圧波形(図9)で駆動した場合、第1から第3の電圧変化プロセス91, 93, 95に引き続いで、第4の電圧変化プロセス97が加えられることで、発生する圧力波残響と相殺する圧力波が発生するので、図10(b)からわかるように、第一波以降で体積速度の振幅が大きく減衰する。したがって、吐出後における圧力波残響の発生が有效地に抑制されることがわかる。それゆえ、この第2実施例の駆動方法によれば、高い駆動周波数でも微小滴を安定に吐出できる。

【0053】図11は、残響抑制の有無による吐出状態の変化を写す写真である。図11の写真から明らかのように、第1実施例(残響抑制なし)の場合には、8 kHz以上の駆動周波数でインク滴の尾が曲がったり、サテライトの飛翔状態が不安定化するのに対し(同図の写真(a))、第2実施例(残響抑制あり)の場合には、10 kHzでも吐出状態がほとんど変化しないことが確認された(同図の写真(b))。

【0054】なお、この第2実施例において、効率良く圧力波残響を抑制するには、第4の電圧変化プロセス97の電圧変化時間  $t_4$  を圧力波の固有周期  $T_c$  の半分以下に設定することが望ましい。また、第2の電圧変化プロセス93の開始時刻と、第4の電圧変化プロセス97の開始時刻との時間間隔 ( $t_2 + t_2' + t_3 + t_3'$ ) が、圧力発生室2内の圧力波の固有周期  $T_c$  に対し、略  $1/2$  に設定することによって最も効率的に圧力波の残響を抑制できる。これは、第2の電圧変化プロセス93によって発生された圧力波に対して、位相が逆の圧力波が発生されることにより、圧力波が効率的に打ち消されるためである。

40

【0055】以上、この発明の実施例を図面により詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。例えば、ノズルやインク供給孔の形状は、テーパ形状に限らない。同様に、開口形状は、円形形状に限らず、長方形や三角形やその他の形状でも良い。また、ノズル、圧力発生室、インク供給孔のそれぞれの位置関係も、この実施例で示した構造に限定されるものではなく、例えば、ノズルを圧力発生室の中央部等に配置しても勿論良い。

50

【0056】また、上述の第1実施例では、第1の電圧変化プロセス終了時の電圧(0V)と、第3の電圧変化プロセス終了時の電圧(0V)とを一致させているが、これに限定されず、互いに、異なった電圧に設定しても

19

良い。また、上述の第2実施例では、第2～第4の電圧変化プロセス93、95、97の電圧変化時間 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ を一致させているが、これに限らず、それぞれの電圧変化時間を別個に設定しても良い。また、上述の第2実施例では、第4の電圧変化プロセス終了時の電圧を基準電圧に一致させるようにしたが、これに限定されず、異なる電圧に設定しても良い。また、上述の実施例では、基準電圧を0Vからオフセットさせているが、これに限らず、基準電圧を任意に設定して良い。

【0057】また、上述の実施例では、圧力波の固有周期 $T_c$ が $14\mu s$ である記録ヘッドについての実験結果を示したが、固有周期 $T_c$ がこれと異なる場合においても、上述の実施例で述べたと略同様の効果が得られることが適用可能であることが確認されている。ただし、 $20\mu m$ レベルの微小滴吐出を行う場合には、固有周期は $20\mu s$ 以下に設定することが望ましい。

【0058】また、上述の実施例では、ノズル径 $30\mu m$ の記録ヘッドを用いたが、これに限らず、開口径が $20\sim40\mu m$ のノズルを備えるインクジェット記録ヘッドを駆動して、滴径 $5\sim25\mu m$ のインク滴を吐出させることができる。なお、目詰まりの問題が将来解決すれば、ノズル径の実用上の下限が、 $20\mu m$ 程度にまで伸びることが予想される。また、上述の実施例では、カイザー型インクジェット記録ヘッドを用いたが、カイザーモードに限定されない。

#### 【0059】

【発明の効果】以上説明したように、この発明の構成によれば、ノズル径よりも小さな径の微小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できる。具体的には、ノズル径が $30\mu m$ でも $20\mu m$ レベルの微小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、この発明の第1実施例であるインクジェット記録装置に搭載されるインクジェット記録ヘッドの構成を示す断面図、(b)は、同インクジェット記録ヘッドを分解して示す分解断面図である。

【図2】同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径非変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図である。

【図3】同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径変調型駆動回路の電気的構成を示すブロック図である。

10

20

30

40

20

【図4】同インクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

【図5】同駆動電圧波形によって、ノズル部に生じるインクの体積速度波形を示す波形図である。

【図6】同実施例の効果を説明するための図である。

【図7】同実施例の効果を説明するための図である。

【図8】同実施例の効果を説明するための図である。

【図9】この発明の第2実施例であるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

【図10】同実施例の効果を説明するための図である。

【図11】同実施例の効果を説明するための図で、残響抑制の有無による吐出状態の変化を写す写真である。

【図12】この発明に適用されるインクジェット記録ヘッドのインク充填状態における等価電気回路図である。

【図13】同インクジェット記録ヘッドの駆動方法を説明するための波形図である。

【図14】同インクジェット記録ヘッドの駆動方法を説明するための波形図である。

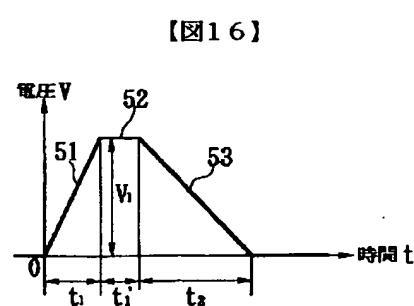
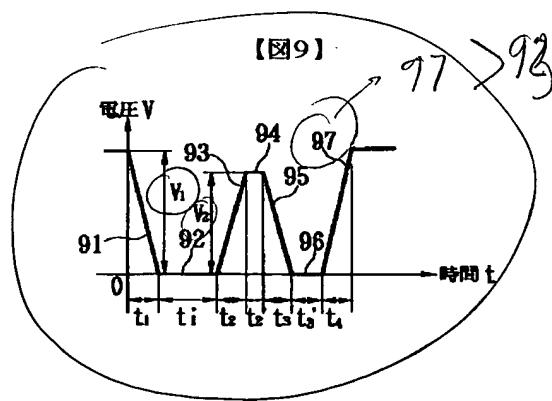
【図15】従来技術を説明するための図で、オンデマンド型インクジェット記録ヘッドのうち、カイザーモードと呼ばれるインクジェット記録ヘッドの基本構成を概略示す断面図である。

【図16】従来におけるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

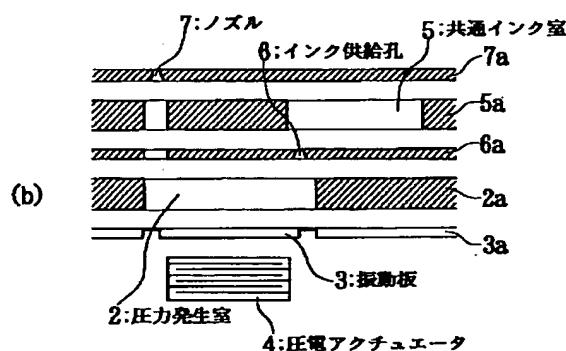
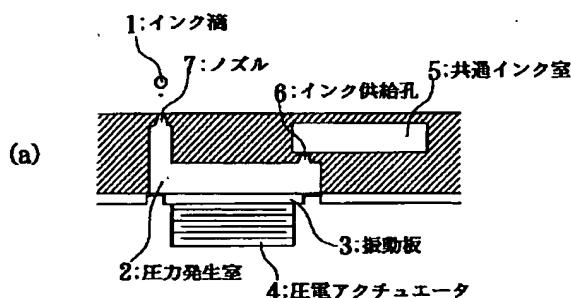
【図17】従来における別のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

#### 【符号の説明】

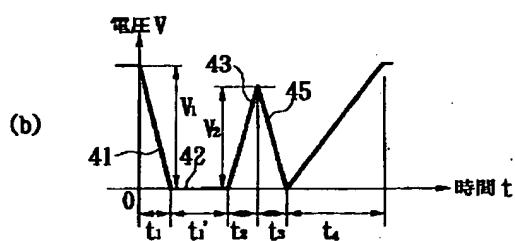
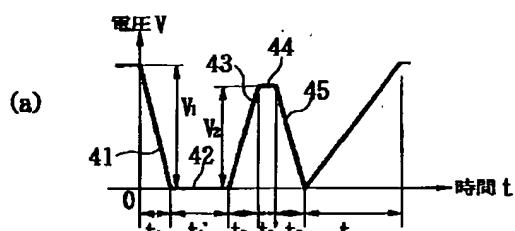
- 1 インク滴
- 2 圧力発生室
- 3 振動板
- 4 圧電アクチュエータ（電気機械変換器）
- 7 ノズル
- 41, 91 第1の電圧変化プロセス
- 43, 93 第2の電圧変化プロセス
- 45, 95 第3の電圧変化プロセス
- V97 第4の電圧変化プロセス



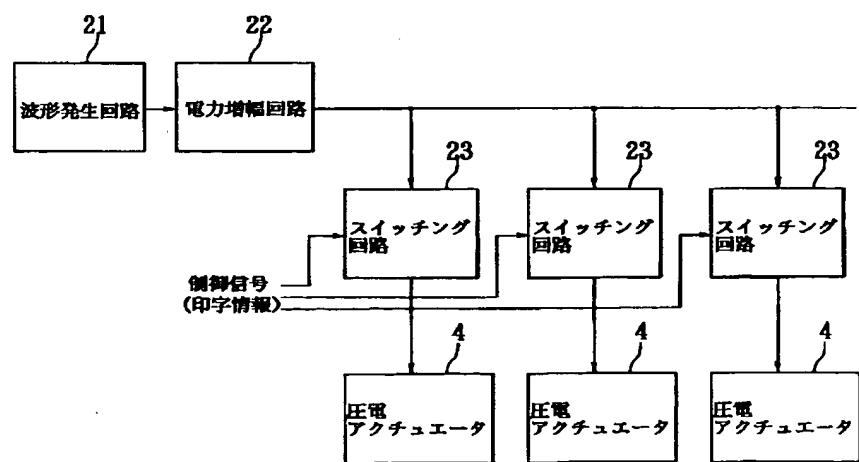
【図1】



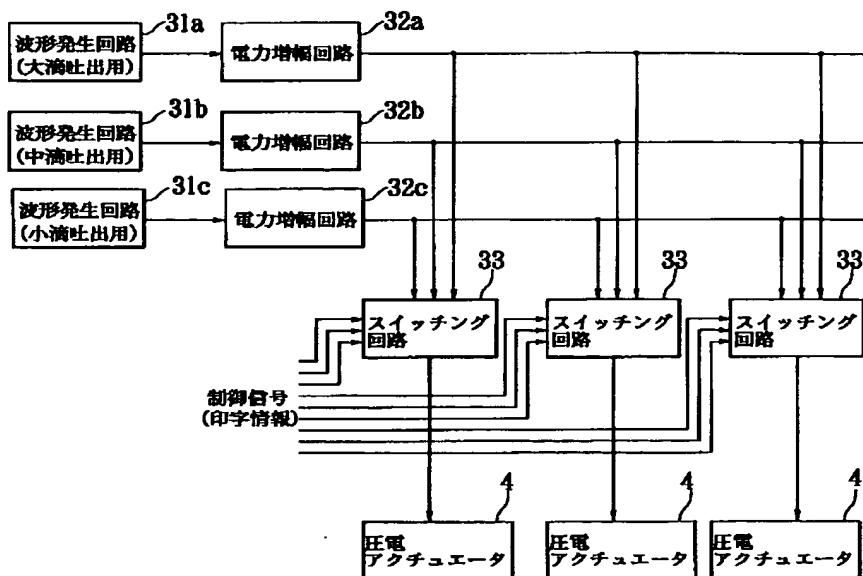
【図4】



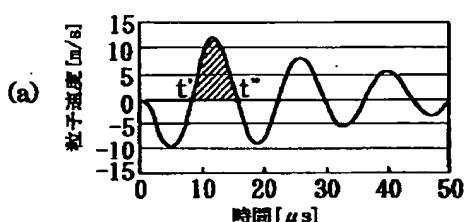
【図2】



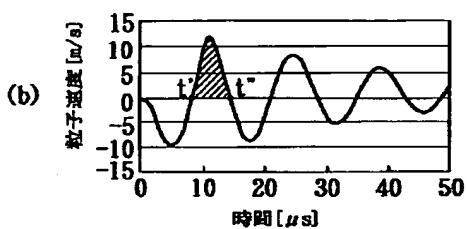
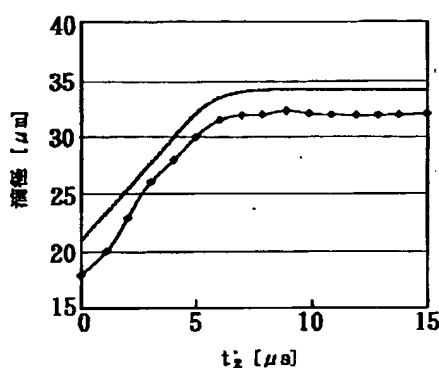
【図3】



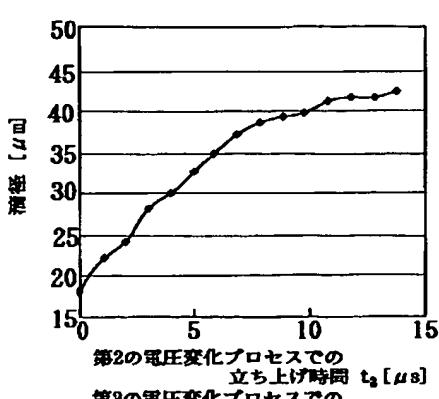
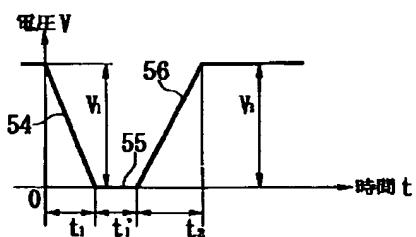
【図5】



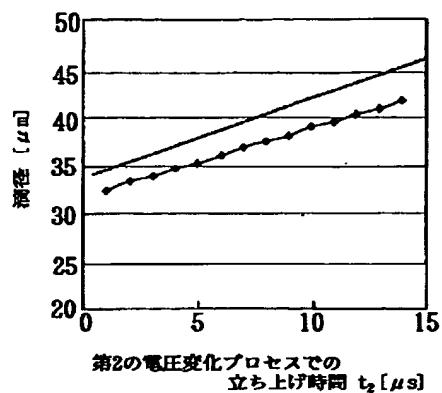
【図6】



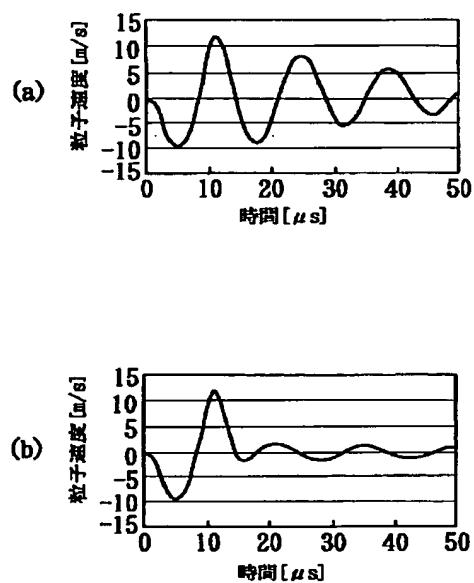
【図17】



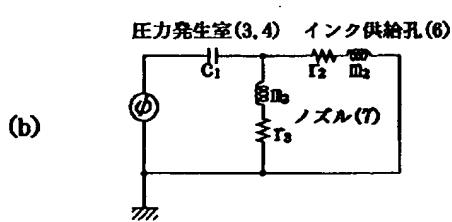
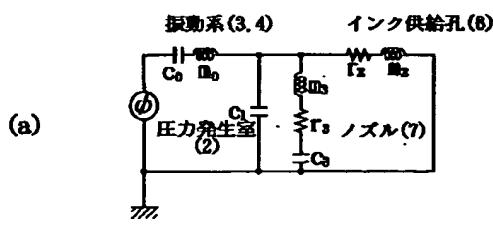
【図8】



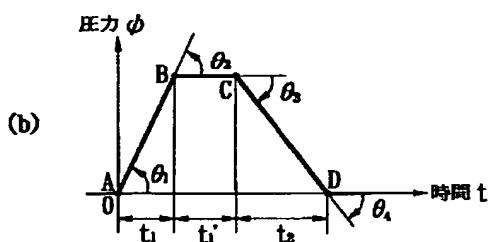
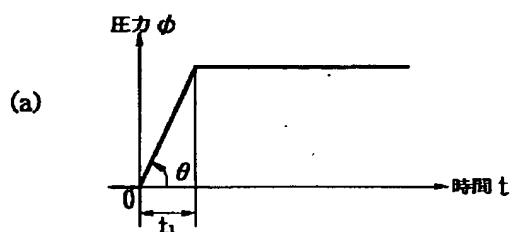
【図10】



【図12】

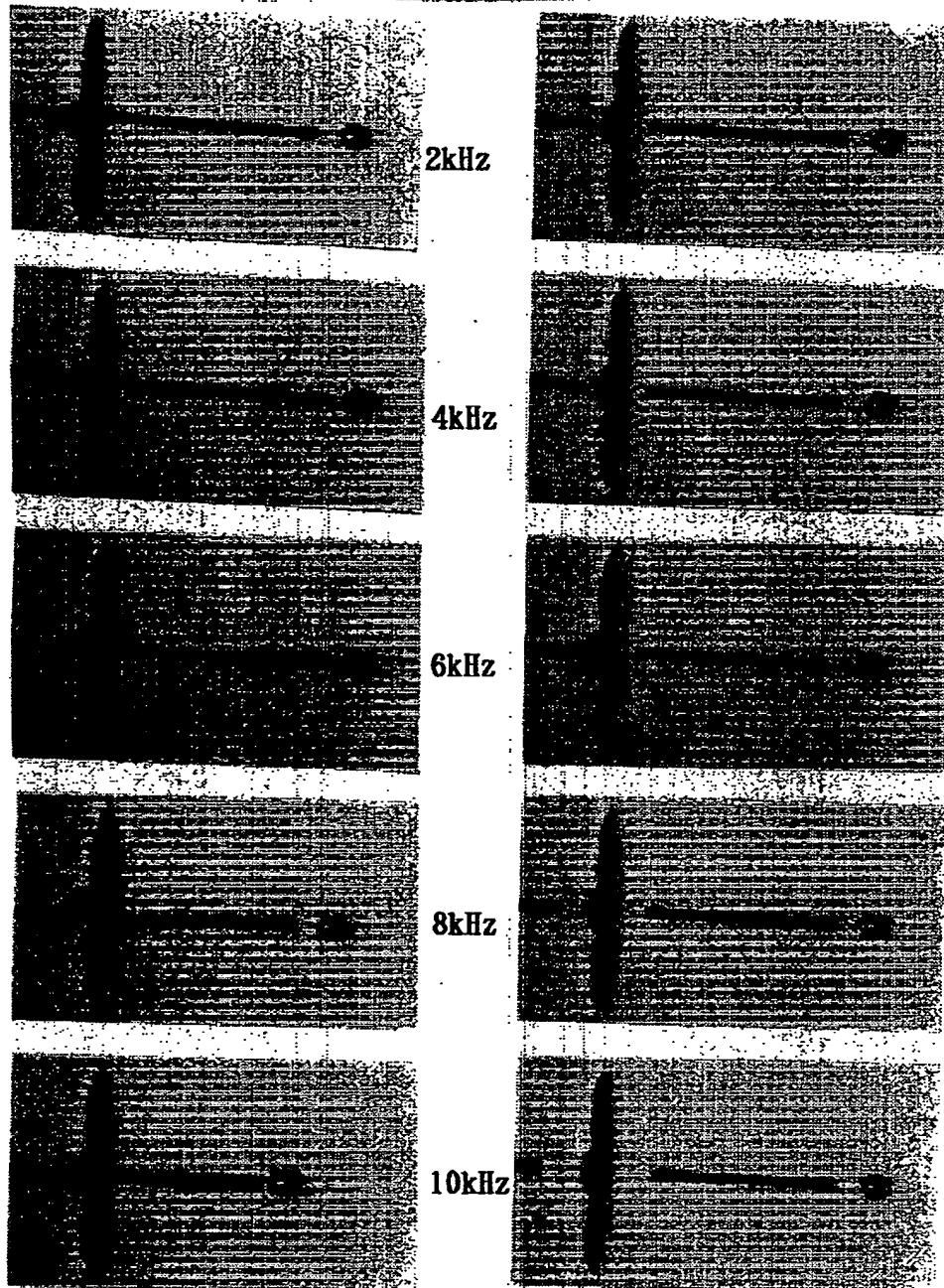


【図13】



【図11】

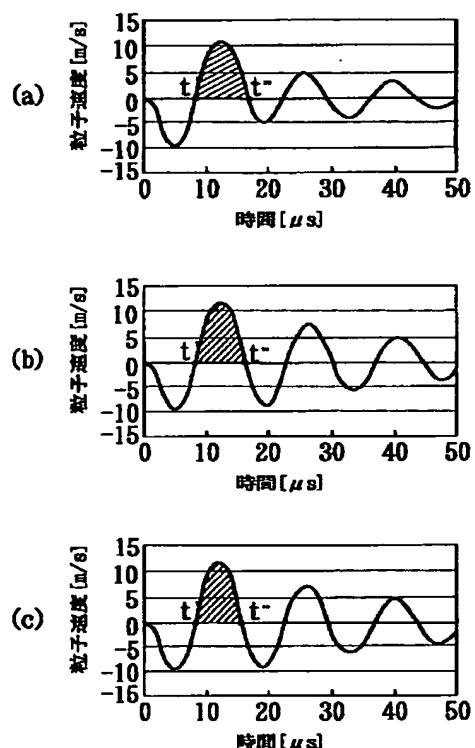
画面代用写真



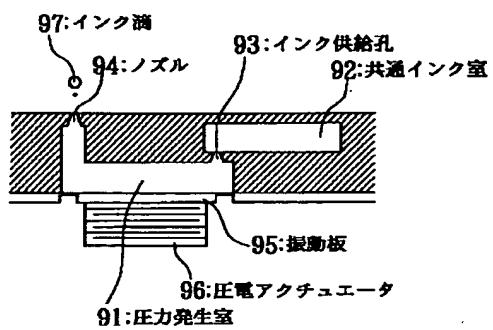
(a) 残響抑制なし

(b) 残響抑制あり

【図14】



【図15】



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

2000-117969

(43)Date of publication of application : 25.04.2000

(51)Int.Cl.

B41J 2/045

B41J 2/055

(21)Application number : 10-318443

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 20.10.1998

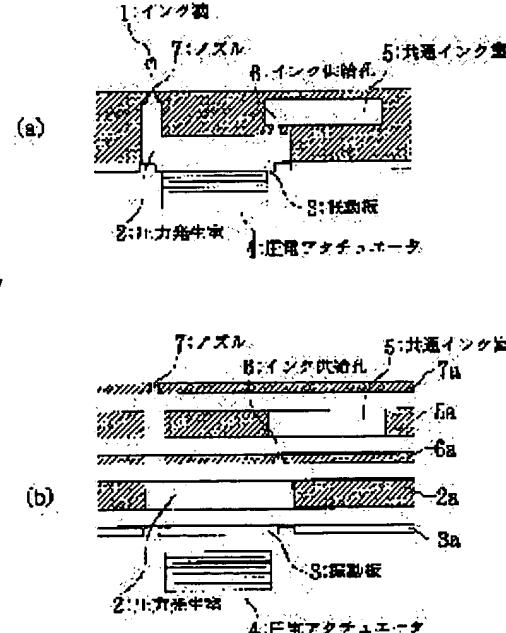
(72)Inventor : OKUDA SHINICHI

## (54) METHOD FOR DRIVING INK JET RECORDING HEAD

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable microink droplets with a smaller dia. than a nozzle diameter to be stably discharged at a high drive frequency.

**SOLUTION:** In a method for driving an ink jet recording head which discharges ink droplets 1 from a nozzle communicating with a pressure generation chamber 2 by applying a drive voltage to a piezoelectric actuator 4 and causing a pressure change in the pressure generation chamber 2, a drive voltage waveform is constituted by a first voltage change process which applies voltage in a direction where the pressure generation chamber 2 is inflated, a second voltage change process which applies voltage in a direction where the pressure generation chamber 2 is compressed and a third voltage change process which applies voltage in a direction where the pressure generation chamber 2 is again inflated. Further, voltage change times t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub> in the second and the third voltage change process are set to be the duration of 0 < t<sub>2</sub> < T<sub>c</sub>/2, 0 < t<sub>3</sub> < T<sub>c</sub>/2 to the intrinsic period T<sub>c</sub> of a pressure wave generated in the pressure generation chamber 2.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

20.10.1998

[Date of sending the examiner's decision of

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**DETAILED DESCRIPTION**

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the drive method of an ink-jet recording head of breathing out a minute ink drop from a nozzle and performing record of a character or a picture.

[0002]

[Description of the Prior Art] From the former, the so-called on-demand type ink-jet recording head which carries out the regurgitation of the ink drop from a nozzle as one of this kind of the recording heads according to printing information is known widely (for example, refer to JP,53-12138,B).

Drawing 15 is an outline \*\*\*\* cross section about the basic composition of the ink-jet recording head called kayser type among on-demand type ink-jet recording heads. In this kayser type recording head, as shown in this drawing, it is the upstream of ink, and the pressure generating room 91 and the common ink room 92 are connected through the ink feed holes (ink supply way) 93, and the pressure generating room 91 and the nozzle 94 are connected by the downstream of ink. Moreover, drawing insole Itabe of the pressure generating room 91 is constituted by the diaphragm 95, and the electrostrictive actuator 96 is formed in the rear face of this diaphragm 95.

[0003] At the time of printing operation, an electrostrictive actuator 96 is driven according to printing information, the variation rate of the diaphragm 95 is carried out, thereby, the volume of the pressure generating room 91 is changed rapidly, and the pressure generating room 91 is made to generate a pressure wave in such composition. this pressure wave -- the pressure generating interior of a room -- it is injected outside through a nozzle 94, and some ink with which 91 is filled up serves as the ink drop 97, and it carries out the regurgitation The breathed-out ink drop 98 reaches the target on record media, such as the recording paper, and forms a record dot. By performing formation of such a record dot repeatedly based on printing information, a character and a picture will be recorded on a record medium.

[0004] Here, by this on-demand type ink-jet recording method, if reference is further made about ink drop discharging, although one drop of ink drop carries out the regurgitation whenever it impresses predetermined driver voltage to an electrostrictive actuator 96, in case one drop of ink drop is made to breathe out, generally by the former, impressing the driver voltage wave of a trapezoidal shape to an electrostrictive actuator 96 is performed. Since the driver voltage wave of this trapezoidal shape compresses the pressure generating room 91 and makes the ink drop 97 breathe out as shown in drawing 16 The 1st voltage change process 51 the applied voltage V to an electrostrictive actuator 96 is made to increase linearly from the reference voltage to the predetermined height V1, It consists of a voltage maintenance process 52 of holding applied voltage V which reached the predetermined height V1 for a time ( $t1'$  time), and the 2nd voltage change process 53 which returns applied voltage V1 to reference voltage in order to return the pressure generating room 91 of a compression state after this. In addition, since the movement of the electrostrictive actuator by the change in driver voltage is dependent on the structure of an electrostrictive actuator 96, or the sense of polarization, although the electrostrictive

actuator which moves to a retrose with the movement of the above-mentioned electrostrictive actuator also exists As opposed to the electrostrictive actuator of this reverse action If driver voltage is also made into a retrose, since same discharging will be carried out to having described above, in the column of the "detailed description" of this specification It works to the sense which will compress a pressure generating room if applied voltage increases in order to simplify the following explanation, and on the contrary, if applied voltage decreases, the electrostrictive actuator which works to the sense which expands a pressure generating room will be represented, and it will explain.

[0005] By the way, in this kind of ink-jet recording head, since 1 pixel is formed by the ink drop's 97 reaching the target on the recording paper, and forming a record dot, if the path of a record dot is large, there is a problem that a granular feeling appears and high definition is not obtained. Then, it is supposed on experience that it is the diameter conditions of a dot for acquiring a smooth picture with few granular feelings (high definition) 40 micrometers or less, and if the diameter of a dot is 25 micrometers or less, it is thought that it is very desirable. In order to obtain the small diameter of a dot, it is in Ming that what is necessary is just to make small the path of the \*\* ink drop 97 to breathe out. Although the relation between an ink drop diameter and the diameter of a dot is dependent on the flight speed (drop \*\*) of the ink drop 97, ink physical properties (viscosity, surface tension), and record paper types, the diameter of a dot usually serves as a double-precision grade of an ink drop diameter. Therefore, it is necessary to have to set an ink drop diameter to 20 micrometers, in order to obtain the 40-micrometer diameter of a dot, and to set an ink drop diameter to 12.5 micrometers or less, in order to obtain the still smaller diameter of a dot of a dot, for example, a diameter 25 micrometers or less. On the other hand, when making the ink drop 97 breathe out from a nozzle 94 by the pressure wave, theoretical consideration shows that it is proportional to the effective-area product An of the \*\* nozzle 94, the speed (drop \*\*) Vd of \*\* ink drop 97, the natural period Tc of the pressure wave in \*\* pressure generating room 91 (acoustical fundamental-vibration mode), etc., as the volume q of the ink drop 97 breathed out is shown in a formula (1). Therefore, in order to miniaturize the ink drop 97, it is thought that what is necessary is just to make small the part, the diameter of nozzle opening, \*\*\*\* Vd, and the natural period Tc of a pressure wave.

[0006]

[Equation 1]

$$q \propto T_c V_d A_n$$

... (1)

[0007] Then, the natural period Tc of a pressure wave is discussed first. The natural period Tc of a pressure wave becomes short decreasing the volume of the pressure generating room 91, or by raising the rigidity of a pressure generating interior wall and making small the acoustic capacitance of the pressure generating room 91. However, if the natural period Tc of a pressure wave is shortened extremely even at the order for several microseconds, since the smooth nature of a refill will be spoiled, consequently a bad influence will be produced in respect of \*\*\*\* efficiency, the highest drive frequency, etc., about 10 - 20 microseconds of the natural period Tc of a pressure wave are a minimum community in practice. Next, \*\*\*\* Vd of the ink drop 97 is described. \*\*\*\* Vd influences the impact position precision of the ink drop 97, and if \*\*\*\* is slow, as for the impact position precision of the ink drop 97, the ink drop 97 will become bad in response to the influence of the flow of air. Therefore, in order to be unable to ask only for making \*\*\*\* small, and to be unable to make \*\*\*\* Vd extremely small but to obtain high picture quality after all, the value more than fixed (usually about 4-10 m/s) is required also about \*\*\*\* Vd of the ink drop 97.

[0008] Next, the diameter of nozzle opening is described. When an electrostrictive actuator 96 is driven by the driver voltage wave which sets the natural period Tc of the pressure wave in the pressure generating room 91 where it filled up with ink as about 10 - 20 microseconds according to the above-mentioned situation, and sets \*\*\*\* Vd of the ink drop 97 as about 4-10 m/s, and is shown in drawing 16, as for the minimum ink drop diameter obtained, it turns out on experience that the size about the diameter 97 of a nozzle and equivalent is a limitation. Therefore, to set the diameter of a nozzle to 20 micrometers, in order to obtain the ink drop diameter of 20 micrometers, and to consider as the diameter

of a nozzle still smaller than 20 micrometers, in order to obtain an ink drop diameter still smaller than 20 micrometers is demanded. However, since the probability of occurrence of the blinding of a nozzle increases while many difficulties are accompanied by forming the diameter of a nozzle smaller than 20 micrometers in respect of manufacture, the reliability of a head and endurance reservation will be spoiled remarkably. For this reason, in fact, about 25-30 micrometers is the present minimum of the diameter of a nozzle, therefore about 25-30 micrometers of the diameter of the maximum globule obtained are a limitation on condition that a \*\*\*\*. In addition, if the problem of blinding will be solved in the future, it will be expected that the minimum of the diameter of a nozzle is extended to about 20 micrometers.

[0009] it is indicated by JP,55-17589,A etc. as a means to overcome such a problem -- as -- the driver voltage wave of a reverse trapezoidal shape -- an electrostrictive actuator 96 -- impressing -- "the ink-jet drive method of having made it make an ink drop smaller than the diameter of a nozzle breathing out by lengthening and striking and performing " is offered This driver voltage wave in order to expand the pressure generating room 91, as shown in drawing 17 The applied voltage V of the electrostrictive actuator 96 set as reference voltage V1 (>0V) For example, the 1st voltage change process 54 which decreases even 0V, While compressing the pressure generating room 91 the voltage maintenance process 55 of holding applied voltage V which decreased even to 0V for a time (t1' time), and after this and making the ink drop 97 breathe out In order to make it prepare for the next discharging, it consists of the 2nd voltage change process 56 which makes the applied voltage V of an electrostrictive actuator 96 increase even to the height of the original voltage V1. thus -- if a pressure generating room is expanded just before the regurgitation, since the regurgitation will be performed from the state from which the meniscus which suited the nozzle effective area was drawn in the interior of a nozzle, and the configuration of a meniscus became concave -- this drive method -- "meniscus control" and "-- it lengthens and strikes and is called " etc. Since it originates in the drop formation state at the time of the regurgitation changing etc. when according to the drive method of this "meniscus control (lengthening and striking)" a meniscus is drawn in the interior of a nozzle just before the regurgitation and the amount of ink inside a nozzle decreases, and the ink drop of a path smaller than the diameter of a nozzle is formed, high-definition record can be obtained. In addition, since the ink drop which carries out the regurgitation stops being influenced of wetting of a nozzle effective area easily, regurgitation stability also improves.

[0010] Moreover, a means to use meniscus control for a \*\*\*\* modulation is proposed by JP,59-143655,A by making the ink drop of a path which is different from the same nozzle breathe out by making adjustable the amount of retreat of the meniscus in front of \*\*\*\*. Moreover, the time interval (timing) of the 1st voltage change process 54 and the 2nd voltage change process 56 is specified as conditions as for which some proposals are made also about the voltage waveform of the driver voltage in the case of performing meniscus control, for example, a minute drop becomes JP,59-218866,A is easy to be obtained. Moreover, by setting the voltage change time of the 1st and 2nd voltage change processes 54 and 56 as the integral multiple of the natural period Tc of a pressure wave, to JP,2-192947,A, generating of the reverberation of the pressure wave after ink \*\*\*\*\* is prevented, and, thereby, the drive method of preventing generating of a satellite is indicated.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, even if it is in the drive method ( drawing 17 ) of meniscus control (lengthening and striking) given [ above-mentioned ] in an official report, according to the experiment, it is difficult to be to about about 90% of the diameter of a nozzle, therefore to obtain a minute ink drop 20 micrometers or less, and to realize high-definition record at most, for an ink drop diameter to be made small in practice. The artificers concerning this application namely, under the conditions of \*\*\*\* Vd=6 m/s diameter =of nozzle30micrometer, and natural period Tc=14microsecond of a pressure wave And according to the result which conducted the \*\*\*\* experiment by the driver voltage wave shown in drawing 17 Voltage holding-time t1' in reference voltage V1, the voltage change time (bringing down time) t1 in the 1st voltage change process 54, and the voltage maintenance process 55, Even if it changed variously the value of the voltage change time (starting time) t2 in the 2nd voltage

change process 56 and combined it, 28 micrometers of \*\*\*\* (nominal diameter computed from the \*\*\* ink total amount including a satellite) obtained were a minimum.

[0012] Moreover, when a high-speed drive is carried out by the voltage waveform of the reverse trapezoidal shape shown in drawing 17, the reverberation of a big pressure wave arises after ink \*\*\*\*, consequently a low-speed satellite occurs or poor \*\*\*\* has occurred [ un-arranging / of lacking \*\*\* stability ]. In the experiment which these artificers conducted, when drive frequency exceeded 8kHz, the contamination of the air bubbles into a nozzle, adhesion of the satellite drop to the nozzle circumference, etc. occurred, it originated in this, and a fall and poor \*\*\* of \*\*\* Vd were observed. Since it is checked that the head used in this experiment is a head which can drive 10kHz or more in the driver voltage wave of a trapezoidal shape shown in drawing 16, it is in Ming that generating with poor \*\*\* originates in the reverberation of the pressure wave produced by the driver voltage wave of a reverse trapezoidal shape shown in drawing 17.

[0013] On the other hand, although \*\*\* stability can be secured when it brings down and time t1 and the starting time t2 are set as the integral multiple of a natural period Tc in the driver voltage wave shown in drawing 17 as indicated by JP,2-192947,A, it will become difficult to obtain a minute drop shortly. That is, according to the experimental results, such as this artificer, starting / when it brings down and time (t1/t2) is made in agreement with a natural period Tc, with the 30-micrometer diameter of a nozzle, the minute drop obtained is 35 micrometers and it turns out that it is difficult to obtain \*\*\* below the diameter of a nozzle.

[0014] This invention was made in view of the above-mentioned situation, and aims at offering the drive method of an ink-jet recording head that high drive frequency can also \*\*\* stably the minute ink drop of a minor diameter (for example, 20-micrometer level) rather than the diameter of a nozzle.

[0015]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, invention according to claim 1 By making the pressure generating interior of a room where impressed driver voltage to the electromechanical transducer in, the electromechanical transducer concerned was made to transform in, and it filled up with ink produce pressure variation The drive method of an ink-jet recording head of making an ink drop breathing out from the nozzle opened for free passage by the above-mentioned pressure generating room is started. With the 1st voltage change process which impresses voltage in the direction to which the volume of the above-mentioned pressure generating room is made to increase the voltage waveform of the above-mentioned driver voltage, subsequently While having at least the 2nd voltage change process which impresses voltage in the direction which decreases the volume of the above-mentioned pressure generating room, and the 3rd voltage change process which impresses voltage in the direction to which the volume of the above-mentioned pressure generating room is made to increase again and constituting it It is characterized by setting the above 2nd and the voltage change time t2 and t3 in the 3rd voltage change process as the length of  $0 < t2 < Tc/20 < t3 < Tc/2$  to the natural period Tc of the pressure wave generated in the above-mentioned pressure generating interior of a room.

[0016] Moreover, invention according to claim 2 relates to the drive method of an ink-jet recording head according to claim 1, and is characterized by making the start time of the voltage change process of the above 3rd in agreement with the voltage change process-killing time of the above 2nd.

[0017] Moreover, invention according to claim 3 relates to the drive method of an ink-jet recording head according to claim 1 or 2, and, subsequently to the voltage change process of the above 1st, the voltage change process of the above 2nd, and the voltage change process of the above 3rd, is characterized by including the 4th voltage change process which impresses voltage in the direction which decreases the volume of the above-mentioned pressure generating room at the voltage waveform of the above-mentioned driver voltage.

[0018] Moreover, invention according to claim 4 relates to the drive method of an ink-jet recording head according to claim 3, and is characterized by setting the voltage change time t4 in the voltage change process of the above 4th as the length of  $0 < t4 < Tc/2$  to the natural period Tc of the pressure wave generated in the above-mentioned pressure generating interior of a room.

[0019] Invention according to claim 5 relates to the drive method of an ink-jet recording head according to claim 3 or 4, and is characterized by setting the time interval from the start time of the voltage change process of the above 2nd to the start time of the voltage change process of the above 4th as the length of abbreviation 1/2 to the natural period  $T_c$  of the pressure wave generated in the above-mentioned pressure generating interior of a room.

[0020] Moreover, invention according to claim 6 relates to the drive method of a claim 1 or an ink-jet recording head given in any 1 of 5, and is characterized by the above-mentioned electromechanical transducer being an electrostrictive actuator.

[0021] Moreover, invention according to claim 7 is characterized by starting the drive method of a claim 1 or an ink-jet recording head given in any 1 of 5, driving an ink-jet recording head equipped with the above-mentioned nozzle whose diameter of opening is 20-40 micrometers, and making the ink drop of 5-25 micrometers of \*\*\* breathe out.

[0022]

[Theoretical validity of invention] The rationale of the validity of this invention is explained using a lumped-parameter-system equal circuit model. Drawing 12 (a) is an equivalent electrical diagram in the ink restoration state of the ink-jet recording head shown in drawing 1. In this drawing, the inertance (acoustic inertance) [kg/m<sup>4</sup>] of the vibration system by which  $m_0$  is constituted from an electrostrictive actuator 4 and a diaphragm 3, and  $m_2$  The inertance of a nozzle 7 and  $r_2$  the inertance of the ink feed holes 6, and  $m_3$  The acoustic resistance of the ink feed holes 6 [Ns/m<sup>5</sup>],  $r_3$  expresses the pressure [Pa] by which the acoustic capacitance of the ink feed holes 6 and  $c_3$  are given to the acoustic capacitance of a nozzle 7, and  $\psi_1$  is given [the acoustic resistance of a nozzle 7, and  $c_0$  / the acoustic capacitance [m<sup>5</sup>/N] of vibration system, and  $c_1$ ] to ink for the acoustic capacitance of the pressure generating room 2, and  $c_2$ . If the laminating type electrostrictive actuator of high rigidity is used for an electrostrictive actuator 4 here, since the inertance  $m_0$  and acoustic capacitance  $c_0$  of vibration system can be disregarded, the equal circuit of this drawing (a) is expressed with the equal circuit of this drawing (b) in approximation. Moreover, between the ink feed holes 6 and the inertances  $m_2$  and  $m_3$  of a nozzle 7 The relational expression of  $m_2=km_3$  between the ink feed holes 6 and the acoustic resistance  $r_2$  and  $r_3$  of a nozzle 7 As it assumes that the relational expression of  $r_2=kr_3$  is realized, respectively and is shown in drawing 13 (a) If electric circuit analysis is performed about the case where a driver voltage wave with the standup angle theta is inputted, volume-velocity  $u_3'$  [m<sup>3</sup>/s] in the nozzle section 7 within the build up time of  $0 \leq t \leq t_1$  will be given by the formula (2).

[0023]

[Equation 2]

$$u_3'(t, \theta) = \frac{\frac{1}{k} \tan \theta}{\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \left[ 1 - \frac{w}{E_c} \exp(-D_c \cdot t) \sin(E_c \cdot t - \phi_0) \right] \quad \dots (2)$$

$(0 \leq t \leq t_1)$

ただし、  $E_c = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{k}}{c_1 m_3} - D_c^2}$

$$D_c = \frac{r_3}{2m_3}$$

$$w^2 = \frac{1 + \frac{1}{k}}{c_1 m_3}$$

$$\phi_0 = \tan^{-1} \frac{E_c}{D_c}$$

[0024] Next, it can ask for the volume velocity at the time of using the driver voltage wave of a complicated configuration (trapezoidal shape) as shown in drawing 13 (b) by piling up the pressure wave generated in the paragraph section (each point of A, B, C, and D) of a driver voltage wave. That is,

the volume velocity  $u_3$  in the nozzle section 7 [m<sup>3</sup>/s] generated in the driver voltage wave of this drawing (b) is given by the formula (3).

[0025]

[Equation 3]

$$\left. \begin{aligned} u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) && (0 \leq t < t_1) \\ u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) && (t_1 \leq t < t_1 + t'_1) \\ u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) \\ &\quad + u'_3(t - (t_1 + t'_1), \theta_3) && (t_1 + t'_1 \leq t < t_1 + t'_1 + t_2) \\ u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) \\ &\quad + u'_3(t - (t_1 + t'_1), \theta_3) \\ &\quad + u'_3(t - (t_1 + t'_1 + t_2), \theta_4) && (t \geq t_1 + t'_1 + t_2) \end{aligned} \right\} (3)$$

[0026] By the way, when it actually asks for volume velocity  $u_3$  from the driver voltage wave of this drawing (a) using a formula (3), it turns out that the situation of a time change of volume velocity  $u_3$  changes with starting time  $t_1$  a lot. The example is shown in drawing 14. In the field of  $t_1 < T_c$  ( $T_c$  : natural period of a pressure wave), time ( $t''$ ) to set volume velocity  $u_3$  to 0 becomes early with reduction (this drawing (a)  $\rightarrow$  (b)  $\rightarrow$  (c)) of the starting time  $t_1$ . In addition, the particle velocity in drawing is defined as volume-velocity  $u_3'$  / nozzle effective-area product in the nozzle section 7. Thus, by the driver voltage wave, since the volume-velocity wave in the nozzle section 7 changes a lot, this can be used as a minute drop regurgitation principle. because, the Ming kana since the drop volume  $q$  which carries out the regurgitation is expressed with a formula (4) -- it is for carrying out proportionally [ abbreviation ] at the slash aspect product of drawing 14 like

[0027]

[Equation 4]

$$q \propto \int_{t''}^t u(t) dt \quad \dots (4)$$

[0028] That is, if the starting time  $t_1$  is set up small, since a slash aspect product will become small, the small drop volume (diameter of a drop)  $q$  is obtained. The regurgitation of a minute drop becomes possible by setting the starting time  $t_1$  below to the half of the natural period  $T_c$  of a pressure wave especially (it brings down and the same is said of time  $t_2$ ).

[0029] In addition, when performing meniscus control (lengthening and striking) using the driver voltage wave shown in drawing 17, it is desirable to set the starting time  $t_2$  below to the half of the natural period  $T_c$  of a pressure wave especially when performing the minute drop regurgitation. It is because an ink drop is made to a granule much more since the effect of change (slash aspect product reduction) of the above-mentioned volume-velocity wave acts in addition to the \*\*\*\* reduction effect by original meniscus control.

[0030] However, it is still difficult to obtain the minute drop of 20-micrometer level only by setting up small the starting time  $t_2$  of the driver voltage wave of a reverse trapezoidal shape shown in drawing 17. Then, immediately after starting a driver voltage wave, as shown in drawing 4 (a), if the 3rd voltage change process (process of voltage \*\*\*\* lowering) the volume of the pressure generating room 2 is made to increase rapidly is added to an electrostrictive actuator 4, as shown in drawing 5 (a), a slash aspect product will decrease further and an ink drop will be made as for it to a granule further much more. moreover, \*\*\*\* depended for bringing down -- the minutest \*\*\*\* is obtained, as a little effect is shown in drawing 4 (b) depending on starting and the time interval to bring down, and it will get it blocked if the timing to bring down is started and it sets up immediately after, and it is shown in drawing 5 (b), if the start time of the 3rd voltage change process is set up so that it may be made in agreement with the 2nd voltage change process-killing time

[0031] Moreover, if rapid starting / driver voltage wave which brings down and has time is used as described above, the reverberation of a big pressure wave will occur after the regurgitation, and it will

become easy to produce problems, such as generating of a satellite, and a stability fall at the time of a high-speed drive. Then, in invention claims 3 and 4 and given in five, the 4th voltage change process (process of voltage starting) which generates the pressure wave for making reverberation suppress is added after the 3rd voltage change process. By offsetting by this the pressure wave generated before it, generating of reverberation is suppressed and regurgitation stability can be increased sharply.

[0032]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, the gestalt of implementation of this invention is explained with reference to a drawing. Explanation is concretely given using an example.

⇒ 1st example drawing 1 (a) the cross section and this drawing (b) showing the composition of the ink-jet recording head carried in the ink-jet recording device which is the 1st example of this invention. The decomposition cross section and drawing 2 which decompose and show this ink-jet recording head. The block diagram and drawing 3 which show the electric composition of the \*\*\*\*\* modulation type drive circuit which drives this ink-jet recording head. The block diagram and drawing 4 which show the electric composition of the \*\*\*\* modulation type drive circuit which drives this ink-jet recording head. The wave form chart (previous statement) showing the volume-velocity wave of the ink which produces the wave form chart showing the composition of the driver voltage wave adopted as the drive method of this ink-jet recording head and drawing 5 in the nozzle section by this driver voltage wave, drawing 6, and drawing 7 are drawings for explaining the effect of this example.

[0033] As the ink-jet recording head of this example makes the ink drop 1 breathe out if needed as shown in drawing 1 (a), starts the on-demand kayser type multi-nozzle formula recording head which prints a character and a picture in the record paper and is shown in drawing 1. Two or more pressure generating rooms 2 which were formed in the \*\*\* cube configuration, respectively, and were put in order by the space perpendicular direction in drawing. At the rear face of the diaphragm 3 which constitutes the drawing insole side of each pressure generating room 2, and this diaphragm 3, and two or more electrostrictive actuators 4 which consist of laminating type electrostrictive ceramics installed corresponding to each pressure generating room 2. The common ink room 5 for connecting with the ink tank which is not illustrated and supplying ink to each pressure generating room 2 (ink pool). It is prepared in two or more ink feed holes (free passage hole) 6 for making 1 to 1 open this common ink room 5 and each pressure generating room 2 for free passage, each pressure generating room 2, and 1 to 1, and outline composition is carried out from two or more nozzles 7 which make the ink drop 1 breathe out from the point which projected in the incavation upper part of each pressure generating room 2. Here, the passage system which ink moves to this order is formed, the vibration system which applies a pressure wave to the ink in the pressure generating room 2 is constituted by the common ink room 5, the ink supply way 6, the pressure generating room 2, and the nozzle 7, and the contact of a passage system and vibration system serves as a base (namely, upper surface in drawing of a diaphragm 3) of the pressure generating room 2 from the electrostrictive actuator 4 and the diaphragm 3 by them.

[0034] At the head manufacturing process of this example, as shown in drawing 1 (b), in being circularly punched by precision press working of sheet metal Two or more nozzles 7 to a seriate Or nozzle plate 7a arranged alternately, Pool plate 5a in which the space section of the common ink room 5 was formed, and feed-holes plate 6a by which the ink feed holes 6 were punched, Pressure generating room plate 2a in which the space section of two or more pressure generating rooms 2 was formed, After preparing beforehand oscillating plate 3a which constitutes two or more diaphragms 3, join these plates 2a, 3a, 5a-7a with glue using the epoxy system adhesives layer with a thickness of about 20 micrometers which is not illustrated, and a laminating plate is created. Next, manufacturing the ink-jet recording head of the above-mentioned composition is performed by joining the created laminating plate and an electrostrictive actuator 4 using an epoxy system adhesives layer. In addition, in this example, a stainless steel board with a thickness of 50-75 micrometers is used for other plates 2a, 5a-7a to the nickel board with a thickness of 50-75 micrometers fabricated by electrocasting (electro foaming) being used for oscillating plate 3a. Moreover, the nozzle 7 of this example is considered as 30 micrometers of open aperture abbreviation, 65 micrometers of \*\*\*\*\*\*, and 75 micrometers of length abbreviation, and is formed in the taper configuration which a path increases gradually toward the pressure generating room

2 side. Moreover, the ink feed holes 6 are also formed in the same configuration as a nozzle 7.

[0035] Next, with reference to drawing 2 and drawing 3, the ink-jet recording device of this example is constituted, and the electric composition of the drive circuit which drives the ink-jet recording head of the above-mentioned composition is explained. The ink-jet recording device of this example has memory which is not illustrated, such as CPU (central processing unit), ROM, and RAM. CPU performs the program memorized by ROM, and in order to print a character and a picture in the record paper based on the printing information supplied from high order equipments, such as a personal computer, through the interface using the various registers and flag which were secured to RAM, it controls each part of equipment.

[0036] After the drive circuit of drawing 2 generates and carries out power amplification of the driver voltage wave signal corresponding to drawing 4 (a), first, by supplying the predetermined electrostrictive actuators 4 and 4 corresponding to printing information, and --, and driving \*\*\*\* -- always -- abbreviation -- make the same ink drop 1 breathe out, a character and a picture are made to print in the record paper, and outline composition is carried out from the wave generating circuit 21, the power amplification circuit 22, electrostrictive actuators 4 and 4 and two or more switching circuits 23 and 23 connected with -- 1 to 1, and --

[0037] The wave generating circuit 21 consists of a digital analogue-conversion circuit and an integrating circuit, after it carries out analogue conversion of the driver voltage data point read from the predetermined storage area of ROM by CPU, carries out integration processing and generates the shown driver voltage wave signal corresponding to drawing 4 (a). The power amplification circuit 22 carries out power amplification of the driver voltage wave signal supplied from the wave generating circuit 21, and outputs it as an amplification driver voltage wave signal shown in drawing 4 (a). An input edge is connected to the outgoing end of the power amplification circuit 22, a switching circuit 23 is connected to the end of the electrostrictive actuator 4 to which an outgoing end corresponds, if the control signal corresponding to the printing information outputted from the drive control circuit which is not illustrated is inputted into a control edge, it will become switch-on and the corresponding amplification driver voltage wave signal (drawing 4 (a)) outputted from the power amplification circuit 22 will be impressed to an electrostrictive actuator 4. An electrostrictive actuator 4 makes the pressure generating room 2 produce a volume change with the variation rate of a diaphragm 3, makes the pressure generating room 2 where it filled up with ink generate a predetermined pressure wave, and makes the ink drop 1 of predetermined \*\*\*\* it to give the variation rate according to the amplification driver voltage wave signal impressed to a diaphragm 3, and breathe out from a nozzle 7 by this pressure wave at this time. In addition, the natural period Tc of the pressure wave in the pressure generating room 2 where ink was filled up with the recording head of this example is 14 microseconds. The breathed-out ink drop reaches the target on record media, such as the recording paper, and forms a record dot. By performing formation of such a record dot repeatedly based on printing information, binary record of a character or the picture is carried out in the record paper.

[0038] Next, the drive circuit of drawing 3 is a multi-stage story (in this example) about the path of the ink drop which carries out the regurgitation from a nozzle. It changes to the three-stage of the large drop of about 40 micrometers of \*\*\*\*, the inside drop of about 30 micrometers, and an about 20-micrometer globule. Three kinds of wave generating circuits 31a, 31b, and 31c which make a character and a picture print in the record paper with many gradation are a so-called \*\*\*\* modulation type drive circuit, and corresponding to \*\*\*\*, Outline composition is carried out from these power amplification circuits 32a, 32b, and 32c connected to the wave generating circuits 31a, 31b, and 31c and 1 to 1, electrostrictive actuators 4 and 4 and two or more switching circuits 33 and 33 connected with -- 1 to 1, and --.

[0039] All, the wave generating circuits 31a-31c consist of a digital analogue-conversion circuit and an integrating circuit, among these wave generating circuits 31a-31c, after they carry out analogue conversion of the driver voltage data point for large drop regurgitation to which wave generating circuit 31a was read from the predetermined storage area of ROM by CPU, carry out integration processing and generate the driver voltage wave signal for large drop regurgitation. While being read from the predetermined storage area of ROM by CPU, after wave generating circuit 31b carries out analogue

conversion of the driver voltage data point for drop regurgitation, it carries out integration processing and generates the driver voltage wave signal for inside drop regurgitation. Moreover, after wave generating circuit 31c carries out analogue conversion of the driver voltage data point for globule regurgitation read from the predetermined storage area of ROM by CPU, it carries out integration processing and generates the driver voltage wave signal for globule regurgitation corresponding to drawing 4 (a). Power amplification circuit 32a carries out power amplification of the driver voltage wave signal for large drop regurgitation supplied from wave generating circuit 31a, and outputs it as an amplification driver voltage wave signal for large drop regurgitation. Power amplification circuit 32b carries out power amplification of the driver voltage wave signal for drop regurgitation, while being supplied from wave generating circuit 31b, and it outputs it as an amplification driver voltage wave signal for inside drop regurgitation. Moreover, power amplification circuit 32c carries out power amplification of the driver voltage wave signal for globule regurgitation supplied from wave generating circuit 31c, and outputs it as an amplification driver voltage wave signal for globule regurgitation (drawing 4 (a)).

[0040] Moreover, a switching circuit 33 consists of the 1st which is not illustrated, the 2nd, and 3rd transfer gate. The input edge of the 1st transfer gate is connected to the outgoing end of power amplification circuit 32a. The input edge of the 2nd transfer gate is connected to the outgoing end of power amplification circuit 32b. The input edge of the 3rd transfer gate is connected to the outgoing end of power amplification circuit 32c, and it connects with the end of the common electrostrictive actuator 4 to which the outgoing end of the 1st, the 2nd, and 3rd transfer gate corresponds. And if the gradation control signal corresponding to the printing information outputted from the drive control circuit which is not illustrated is inputted into the control edge of the 1st transfer gate, the 1st transfer gate will be turned on and the amplification driver voltage wave signal for large drop regurgitation outputted from power amplification circuit 32a will be impressed to an electrostrictive actuator 4.

[0041] An electrostrictive actuator 4 carries out the volume change (an increase and reduction) of the pressure generating room 2 rapidly with the variation rate of this diaphragm 3, makes the pressure generating room 2 where it filled up with ink generate a predetermined pressure wave, and makes the ink drop 1 of a large drop it to give the variation rate according to the amplification driver voltage wave signal impressed to a diaphragm 3, and breathe out from a nozzle 7 by this pressure wave at this time. If the gradation control signal corresponding to the printing information outputted from a drive control circuit is inputted into the control edge of the 2nd transfer gate, while the 2nd transfer gate will be turned on and will be outputted from power amplification circuit 32b, the amplification driver voltage wave signal of a \*\*\*\* delivery volume is impressed to an electrostrictive actuator 4. An electrostrictive actuator 4 carries out the volume change of the pressure generating room 2 with the variation rate of a diaphragm 3, makes the pressure generating room 2 where it filled up with ink generate a predetermined pressure wave, and makes the ink drop 1 of an inside drop it to give the variation rate according to the amplification driver voltage wave signal impressed to a diaphragm 3, and breathe out from a nozzle 7 by this pressure wave at this time. Moreover, if the gradation control signal corresponding to the printing information outputted from a drive control circuit is inputted into the control edge of the 3rd transfer gate, the 3rd transfer gate will be turned on and the amplification driver voltage wave signal (drawing 4 (a)) of globule \*\*\*\*\* outputted from power amplification circuit 32c will be impressed to an electrostrictive actuator 4. An electrostrictive actuator 4 makes the pressure generating room 2 produce a volume change with the variation rate of a diaphragm 3, generates a predetermined pressure wave and makes the ink drop 1 of a globule to give the variation rate according to the amplification driver voltage wave signal impressed to a diaphragm 3, and breathe out from a nozzle 7 by this pressure wave in the pressure generating room 2 where it filled up with ink at this time. The breathed-out ink drop reaches the target on record media, such as the recording paper, and forms a record dot. By performing formation of such a record dot repeatedly based on printing information, multi-gradation record of a character or the picture is carried out in the record paper. In this example, the drive circuit of drawing 2 is included in the ink-jet recording device only for binary records, the drive circuit of drawing 3 constructs to the ink-jet recording device which also performs gradation record, and it is rare \*\*.

[0042] As shown in drawing 4 (a), in order that the above-mentioned amplification driver voltage wave signal may expand the pressure generating room 2 and may retreat a meniscus The 1st voltage change process 41 which brings down the applied voltage V to an electrostrictive actuator 4 ( $V1 \rightarrow 0$ ), In order to compress the 1st voltage maintenance process 42 and pressure generating room 2 which holds brought-down applied voltage V for a time ( $t1'$  time) ( $0 \rightarrow 0$ ) and to make the ink drop 1 breathe out, The 2nd voltage change process 43 which starts voltage ( $0 \rightarrow V2$ ), the 2nd voltage maintenance process 44 which holds started applied voltage V for a time ( $t2'$  time) ( $V2 \rightarrow V2$ ), and in order to expand the pressure generating room 2 again As opposed to the natural period  $Tc$  of the pressure wave which consists of the 3rd voltage change process 45 which brings down voltage ( $V2 \rightarrow 0$ ), and generates the voltage change time  $t2$  and  $t3$  in the 2nd and 3rd voltage change process 43 and 45 in the pressure generating room 2 It is set as the length of  $0 < t2 < Tc/20 < t3 < Tc/2$ .

[0043] Next, the \*\*\*\* experiment was conducted on the following driver voltage wave conditions about the ink-jet drive method of this example. that is reference voltage  $V1=10V$  -- voltage change time  $t1=3\text{microsecond}$  in the 1st voltage change process 41 -- voltage holding-time  $t1'=4\text{microsecond}$  in the 1st voltage maintenance process 42 -- the voltage change time  $t$  in the 2nd voltage change process 43 -- for  $2=2$  microseconds at voltage change time  $t3=2\text{microsecond}$  in the 3rd voltage change process 45 It set up, respectively, voltage holding-time  $t2'$  in the 2nd voltage maintenance process 44 was changed, and change of \*\*\*\* was investigated. In addition, always, the voltage variation  $V2$  of the time 43 of \*\*\*\*, i.e., the 2nd voltage change process, was adjusted so that \*\*\*\* might serve as 6 m/s. Drawing 6 is the property view showing the relation between voltage holding-time  $t2'$  in the 2nd voltage maintenance process 44, and \*\*\*\* of ink. a solid line The actual measurement and dashed line which were obtained under above-mentioned conditions are the guess value of \*\*\*\* which computed the drop volume  $q$  by having computed the volume velocity  $u3$  in the nozzle section 7, and having substituted this calculation result for the formula (4) based on the formula (3), and was called for from the computed drop volume  $q$ . Although some differences were in the absolute value so that drawing 6 might show, good coincidence was obtained between the theoretical value and the experimental value.

[0044] By adding the 3rd voltage change process 45 so that drawing 6 may show As it becomes possible to make an ink drop into a granule remarkably and is especially shown in drawing 4 (b) When the finish time of the 2nd voltage change process 43 and the start time of the 3rd voltage change process 45 are made in agreement, That is, when voltage holding-time  $t2'$  in the 2nd voltage maintenance process 44 was set to 0 microsecond, the ink drop of the smallest \*\*\*\* (19 micrometers) was obtained, and the bird clapper was checked for the minute drop regurgitation of 20-micrometer level possible.

[0045] Next, under the voltage holding-time  $t2'=0\text{microsecond}$  conditions in the 2nd voltage maintenance process 44, the voltage change time (starting time  $t2$ ) of the 2nd voltage change process 43 and the voltage change time (bringing down time  $t3$ ) of the 3rd voltage change process 45 were changed, and change of \*\*\*\* of ink was surveyed. Drawing 7 is the starting time  $t2$  / graph which brings down and shows the relation between time  $t3$  and \*\*\*\* of ink. If the starting time  $t2$  and the starting time  $t3$  are set or less [ of the natural period  $Tc$  of a pressure wave ] to 1/2, drawing 7 shows that fine globule \*\*\*\* is performed effectively.

[0046] in addition, \*\*\*\* of the ink breathed out -- a formula (1) -- the Ming kana -- like, since it is dependent on the natural period  $Tc$  and the diameter of a nozzle of a pressure wave, it can set in the 2nd voltage change process 43/the 3rd voltage change process 45 -- even if it brings down starting time  $t2$ /and sets time  $t3$  or less [ of a natural period  $Tc$  ] to 1/2, the minute drop of 20-micrometer level is not necessarily obtained That is, it is not sufficient condition but a requirement when obtaining the minute drop of 20-micrometer level to bring down starting time  $t2$ /and to set time  $t3$  or less [ of a natural period  $Tc$  ] to 1/2.

[0047] Next, the \*\*\*\* experiment was conducted by the driver voltage wave conventionally which is shown in drawing 17 for comparison with the conventional technology. reference voltage  $V1=10V$  [ namely, ] -- it was set as voltage holding-time  $t1'=4\text{microsecond}$  in the voltage change time  $t1=3\text{-microsecond}$  voltage maintenance process 5 in the 1st voltage change process 54, respectively, and change of \*\*\*\* of the ink which it is made to change at the time  $t3$  of \*\*\*\*, i.e., the starting time in the

2nd voltage change process 56, and is breathed out was investigated In addition, always, the voltage variation V2 at the time of \*\*\*\* was adjusted so that \*\*\*\* might serve as 6 m/s. Drawing 8 is the property view showing the relation between the build up time t2 in the 2nd voltage maintenance process 56, and \*\*\*\* of ink, and the actual measurement obtained under the conditions above-mentioned [ a solid line ], and a dashed line are the guess values of \*\*\*\* called for based on the formula (3) and the formula (4). Although some differences were in the absolute value so that drawing 8 might show, good coincidence was obtained between the theoretical value and the experimental value. In the range of  $t_3 < T_c$  ( $T_c$  : natural period of a pressure wave), \*\*\*\* decreases linearly with reduction of the starting time  $t_3$  so that clearly from drawing 8 . Therefore, when using the conventional "meniscus control (lengthening and striking)" wave as shown in drawing 17 , the starting time  $t_3$  becomes that it is more advantageous for fine globule \*\*\*\* to set up as small as possible. However, \*\*\*\* predicted from drawing 8 though the starting time  $t_3$  is able to be set as 0 microsecond is about 28 micrometers, and it is difficult to obtain the minute drop of 20-micrometer level.

[0048] ◦ 2nd example drawing 9 is the wave form chart showing the composition of the driver voltage wave adopted as the drive method of the ink-jet recording head which is the 2nd example of this invention. As shown in this drawing, in order that an amplification driver voltage wave signal may expand the pressure generating room 2 and may retreat a meniscus in this 2nd example The 1st voltage change process 91 which brings down the applied voltage V to an electrostrictive actuator 4 ( $V_1 \rightarrow 0$ ), In order to compress the 1st voltage maintenance process 92 and pressure generating room 2 which holds brought-down applied voltage V for a time ( $t_1'$  time) ( $0 \rightarrow 0$ ) and to make the ink drop 1 breathe out The 2nd voltage change process 93 which starts voltage ( $0 \rightarrow V_2$ ), the 2nd voltage maintenance process 94 which holds started applied voltage V for a time ( $t_2'$  time) ( $V_2 \rightarrow V_2$ ), and in order to expand the pressure generating room 2 again In order to generate the 3rd voltage change process 95 which brings down voltage ( $V_2 \rightarrow 0$ ), the 3rd voltage maintenance process 96 which holds brought-down applied voltage V for a time ( $t_3'$  time) ( $0 \rightarrow 0$ ), and the pressure wave for reverberation suppression As opposed to the natural period  $T_c$  of the pressure wave which consists of the 4th voltage change process 97 which starts voltage again ( $0 \rightarrow V_1$ ), and generates the voltage change time  $t_2$  and  $t_3$  in the 2nd and 3rd voltage change process 93 and 95 in the pressure generating room 2 It is set as the length of  
 $0 < t_2 < T_c/20 < t_3 < T_c/2$ . In addition, in order to negate the reverberation of a pressure wave efficiently, it is desirable to set the voltage change time  $t_4$  in the 4th voltage change process 97 as the length of  
 $0 < t_4 < T_c/2$  to the natural period  $T_c$  of the pressure wave generated in the pressure generating room 2. That is, it is the same as that of the composition of the 1st above-mentioned example, and abbreviation except the point of having established the 4th voltage change process 97 and the 3rd [ accompanying this ] voltage maintenance process 96.

[0049] Next, the regurgitation experiment was conducted on the following driver voltage wave conditions about the ink-jet drive method of this 2nd example. namely, the time of reference voltage  $V_1=10V$  regurgitation -- that is voltage variation  $V_2=8V$  in the 2nd voltage change process 93 -- voltage change time  $t_1=3\text{microsecond}$  in the 1st voltage change process 91 -- the 1st voltage maintenance process 92 -- for voltage holding-time  $t_1'=4\text{ microseconds}$  voltage change time  $t_2=2\text{microsecond}$  in the 2nd voltage change process 93 -- voltage holding-time  $t_2'=0\text{microsecond}$  in the 2nd voltage maintenance process 94 -- the 3rd voltage change process 95 -- voltage change time  $t_3=2\text{ mus}$  -- voltage holding-time  $t_3'=2\text{ microseconds}$  in the 3rd voltage maintenance process 96 -- for 2 microseconds on the voltage change time  $t_4=3\text{microsecond}$  voltage conditions in the 4th voltage change process 97 Volume-velocity change of the ink in the nozzle section 7 produced when it drives by the driver voltage wave of drawing 9 was computed using the formula (3) and the formula (4). This calculation result is shown in drawing 10 (b) as a particle velocity.

[0050] Next, the regurgitation experiment was conducted by the driver voltage wave conventionally which is shown in drawing 4 for comparison with the 1st example. namely, the time of reference voltage  $V_1=10V$  regurgitation -- that is voltage variation  $V_2=8V$  in the 2nd voltage change process 93 -- voltage change time  $t_1=3\text{microsecond}$  in the 1st voltage change process 91 -- the 1st voltage maintenance process 92 -- for voltage holding-time  $t_1'=4\text{ microseconds}$  voltage change time  $t_2=2\text{microsecond}$  in the

2nd voltage change process 93 -- voltage holding-time  $t2' =$  in the 2nd voltage maintenance process 94 -- for 0 microsecond on the voltage change time  $t3=2$ microsecond voltage conditions in the 3rd voltage change process 95 Volume-velocity change of the ink in the nozzle section 7 produced when it drives by the driver voltage wave of drawing 4 was computed using the formula (3) and the formula (4). This calculation result is shown in drawing 10 (a) as a particle velocity.

*Satellite*

[0051] the case where it drives by the driver voltage wave (drawing 4) of the 1st example -- the 1-, by operation of the 3rd voltage change process 41, 43, and 45, while \*\*\*\* of an ink drop smaller than the diameter of a nozzle becomes possible, good \*\*\*\* stability cannot be acquired This is because the reverberation of a big pressure wave will occur and this will worsen \*\*\*\* stability also after the 1st wave which participates in \*\*\*\* of an ink drop, if it puts in another way also after \*\*\*\*, when it drives by the driver voltage wave (drawing 4) of the 1st example, so that drawing 10 (a) may show.

According to an artificer's etc. experiment, after big pressure wave reverberation in this way has occurred, when the generating state of a satellite tends to become unstable, it is Ming that it is especially easy to generate poor \*\*\*\* in high drive frequency.

[0052] On the other hand, since the pressure wave set off against the pressure wave reverberation to generate by continuing at the 1st to 3rd voltage change process 91, 93, and 95, and the 4th voltage change process 97 being added occurs when it drives by the driver voltage wave (drawing 9) of the 2nd example, the amplitude of volume velocity declines greatly henceforth [ the first wave ] so that drawing 10 (b) may show. Therefore, it turns out that generating of the pressure wave reverberation after \*\*\*\* is suppressed effectively. So, according to the drive method of this 2nd example, high drive frequency can also \*\*\*\* a minute drop stably.

[0053] Drawing 11 is a photograph which copies change of the discharge condition by the existence of reverberation suppression. In the case of the 1st example (with no reverberation suppression), the tail of an ink drop bent by drive frequency 8kHz or more, and it was checked to the flight state of a satellite destabilizing (photograph of this drawing (a)) that at least 10kHz of discharge conditions hardly changes in the case of the 2nd example (those with reverberation suppression) so that clearly from the photograph of drawing 11 (photograph of this drawing (b)).

[0054] In addition, in this 2nd example, in order to suppress pressure wave reverberation efficiently, it is desirable to set the voltage change time  $t4$  of the 4th voltage change process 97 below to the half of the natural period  $Tc$  of a pressure wave. Moreover, the time interval ( $t2+t2'+t3+t3'$ ) of the start time of the 2nd voltage change process 93 and the start time of the 4th voltage change process 97 can suppress the reverberation of a pressure wave most efficiently by setting it as abbreviation 1/2 to the natural period  $Tc$  of the pressure wave in the pressure generating room 2. This is because a pressure wave is negated efficiently by generating a pressure wave with a reverse phase to the pressure wave generated according to the 2nd voltage change process 93.

[0055] As mentioned above, although the example of this invention has been explained in full detail with the drawing, concrete composition is not restricted to this example, and even if there is change of a design of the range which does not deviate from the summary of this invention, it is included in this invention. For example, the configuration of a nozzle or ink feed holes is not restricted to a taper configuration. Similarly, not only a circular configuration but a rectangle, a triangle, and other configurations are sufficient as an opening configuration. Moreover, even if each physical relationship of a nozzle, a pressure generating room, and ink feed holes is not limited to the structure shown in this example, either and arranges a nozzle in the center section of the pressure generating room etc., it is easy to be natural [ physical relationship ].

[0056] Moreover, in the 1st above-mentioned example, although the voltage at the time of the 1st voltage change process end (0V) and the voltage at the time of the 3rd voltage change process end (0V) are made in agreement, it is not limited to this but you may set it as different voltage mutually. moreover -- the 2nd above-mentioned example -- the 2- although the voltage change time  $t2$ ,  $t3$ , and  $t4$  of the 4th voltage change process 93, 95, and 97 is made in agreement, you may set up separately not only this but each voltage change time Moreover, in the 2nd above-mentioned example, although it was made to make the voltage at the time of the 4th voltage change process end in agreement with reference voltage,

it is not limited to this but you may set it as different voltage. Moreover, in the above-mentioned example, although reference voltage is made to offset from 0V, you may set up not only this but reference voltage arbitrarily.

[0057] Moreover, although the above-mentioned example showed the experimental result about the recording head whose natural period  $T_c$  of a pressure wave is 14 microseconds, when a natural period  $T_c$  differs from this, it is checked that it can apply that the same effect as abbreviation [ described / the above-mentioned example ] is acquired. However, when performing fine globule \*\*\*\* of 20-micrometer level, as for a natural period, it is desirable to set it as 20 or less microseconds.

[0058] Moreover, although the recording head of 30 micrometers of diameters of a nozzle was used, not only this but the diameter of opening can drive an ink-jet recording head equipped with the nozzle which is 20-40 micrometers, and can make the ink drop of 5-25 micrometers of \*\*\*\* breathe out in the above-mentioned example. In addition, if the problem of blinding will be solved in the future, it will be expected that the practical minimum of the diameter of a nozzle is extended to about 20 micrometers. Moreover, in the above-mentioned example, although the kayser type ink-jet recording head was used, it is not limited to a kayser type.

[0059]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the composition of this invention, high drive frequency can also carry out the regurgitation of the minute ink drop of a path smaller than the diameter of a nozzle stably. Specifically, also as for high drive frequency, the diameter of a nozzle can carry out the regurgitation of the minute ink drop of 30 micrometers or 20-micrometer level stably.

---

[Translation done.]